รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การใช้ประโยชน์จากแร่ที่มีอยู่ในประเทศเพื่อปรับปรุงดินสำหรับการเพาะปลูก

Improvement of Soil by Using Minerals for Crop Production

คณะผู้วิจัย

1. ผศ.ดร. กุลวดี รังษีวัฒนานนท์
2. ผศ.ดร. ยุวดี มานะเกษม
3. นายบุญร่วม คิดค้า
4. นายชัยวัฒน์ คงมั่นกลาง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

เครือข่ายบริหารการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2548

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การใช้ประโยชน์จากแร่ที่มีอยู่ในประเทศเพื่อปรับปรุงดินสำหรับการเพาะปลูก

Improvement of Soil by Using Minerals for Crop Production

คณะผู้วิจัย

1. ผศ.ดร. กุลวดี รังษีวัฒนานนท์ สังกัด สาขาวิชาเคมี
   สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2. ผศ.ดร. ยุวดี มานะเกษม สังกัด สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช
   สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
3. นายบุญร่วม คิดค้า สังกัด สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช
   สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
4. นายชัยวัฒน์ คงมั่นกลาง สังกัด ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
เครือข่ายการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2548

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากเครือข่ายการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือประจำปีงบประมาณพ.ศ. 2548 งานวิจัยนี้ไม่สามารถประสบความสำเร็จได้หากปราศจากทุนอุดหนุนการวิจัย และความร่วมมือเป็นอย่างดีของคณะผู้วิจัยซึ่งได้แก่ ผศ.ดร. กุลวดี รังษีวัฒนานนท์ ผศ.ดร.ยุวดี มานะเกษม นายชัยวัฒน์ คงมั่นกลาง และนายบุญร่วม คิดค้า ตลอดจนเกษตรกรผู้ปลูกผักชาวบ้านตะคองเก่าทุกท่าน ซึ่งขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้ นอกจากนี้ยังใคร่ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่เอื้ออำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือบางส่วนในการวิจัยครั้งนี้

ผศ.ดร. กุลวดี รังษีวัฒนานนท์
หัวหน้าโครงการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

ชาวบ้านตะคลองเก่า จังหวัดนครราชสีมา ต่างประสพปัญหาขาดทุนจากราคาปุ๋ยเคมีแพงและต้องใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณมากในการปลูกผักแต่ละครั้ง ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการนำแร่ที่พบในประเทศซึ่งราคาถูกกว่าปุ๋ยเคมี ได้แก่ เบนโทไนท์ ไดอะทอไมท์ และพัมมิซ มาใช้ร่วมกับการลดปริมาณปุ๋ยเคมีจากที่เกษตรเคยใช้ลงไป 30 เปอร์เซ็นต์ โดยการทดลองที่ 1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของดินและแร่ การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการใช้แร่ร่วมกับการลดปริมาณปุ๋ยเคมีในผักคะน้าที่ปลูกในกระถางดินทราย ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 8 ทรีตเมนต์ ๆ ละ 5 ซ้ำ และการทดลองที่ 3 ศึกษาผลของการใช้แร่ร่วมกับการลดปริมาณปุ๋ยเคมีในแปลงปลูกกะหล่ำดอก และคะน้าร่วมกับเกษตรกร โดยจัดทรีตเมนต์แบบ 2^4 แฟกทอเรียล ได้ 16 ทรีตเมนต์ ๆ ละ 3 ซ้ำ ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก ผลการทดลองที่ 1 พบว่าค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกของโมดิไฟด์เบนโทไนท์มีค่าสูงที่สุด คือ 77.99 cmol/kg ขณะที่พัมมิซมีค่าต่ำที่สุด คือ 8.20 cmol/kg เบนโทไนท์ และโมดิไฟด์เบนโทไนท์มีสมบัติเป็นด่าง (pH = 9.53 และ 9.42 ตามลำดับ) พัมมิซเป็นกลาง (pH = 6.93) และไดอะทอไมท์เป็นกรด (pH = 4.47) และพบว่าแร่แต่ละชนิดมีธาตุอาหารพืชเป็นส่วนประกอบอยู่อย่างน้อย 9 ธาตุ การทดลองที่ 2 พบว่า การใส่แร่ทั้ง 8 ทรีตเมนต์ ทำให้คะน้ามีน้ำหนักเฉลี่ย/ต้นมากกว่าการไม่ใส่แร่ ประมาณ 168.73 - 209.61 เปอร์เซ็นต์ การใส่เบนโทไนท์ให้น้ำหนักเฉลี่ย/ต้นของคะน้าสูงที่สุด คือ 55.84 กรัม ขณะที่การใส่พัมมิซให้น้ำหนักเฉลี่ย/ต้นต่ำที่สุด คือ 40.33 กรัม และยังแสดงอาการขาดธาตุอาหารเร็วที่สุดด้วย การทดลองที่ 3 พบว่า กะหล่ำดอก และคะน้าให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกัน คือ การใส่แร่ทั้ง 15 ทรีตเมนต์ร่วมกับการลดปุ๋ยเคมีลงไป 30 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลผลิตไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ตามที่เกษตรกรเคยใช้ จากผลการทดลองสามารถแนะนำให้เกษตรกรใช้แร่เหล่านี้ในอัตรา 3 ส่วนต่อปุ๋ยเคมี 7 ส่วน ผลผลิตผักที่ได้จะไม่แตกต่างจากที่เคยได้รับจากการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว แต่จะช่วยให้เกษตรกรลดรายจ่ายจากการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Abstract

Vegetable farmers in Ban Ta Klong Kao, Muang district, Nakhon Ratchasima have been required to use an expensive chemical fertilizer which they have used for long time. Attempts have been made to determine the feasibility of using natural minerals (found in Thailand) such as bentonite, diatomite and pumice together with chemical fertilizer to reduce the amount of chemical fertilizer used by 30%. Experiment 1 was to study the physical property of soil and the natural mineral used in the experiment. Experiment 2 was a CRD with 8 treatments and 5 replications, to reduce the chemical fertilizer used by mixing with natural minerals for the growth of chinese kale in plots. Experiment 3 was a 2^4 factorial design with 16 treatments and 3 replications to reduce the chemical fertilizer used by mixing with natural minerals for the growth of cauliflower and chinese kale in the farmer fields. The result from experiment 1 showed that modified bentonite had the highest cation exchange capacity (77.99 cmol/kg) while pumice had the lowest cation exchang capacity (8.20 cmol/kg). Bentonite and modified bentonite had the properties of a base with the pH of 9.53 and 9.42 while pumice had a pH of 6.93 and diatomite had the properties of an acid with the pH of 4.47. All natural minerals used had at least 9 elements that plant can use. The eight treatments in experiment 2 resulted in higher plant weight (around 168.73-209.61%) than the plants that did not have mineral added. Bentonite gave the highest chinese kale plant weight (55.84 gm) while pumice gave the lowest chinese kale plant weight (40.33 gm). Chinese kale that pumice was added to show the symptoms of mineral deficiency most quickly. The results in experiment 3 showed that there was no significant effect on the yield of cauliflower and chinese kale when adding every natural mineral by 30%, and reducing the chemical fertilizer to 70% compared with giving 100% chemical fertilizer. Therefore, the ratio of natural mineral and chemical fertilizer used for growing vegetable in Ban Ta Klong Kao could be 3 : 7 to reduce the cost of vegetable production.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 แร่ดินและแร่หิน	2
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย	5
2.1 การวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพของเนื้อดินและแร่	5
2.1.1 วิธีการทดลอง	5
2.1.2 ผลการทดลอง	9
2.2 การทดลองในกระถางการทดลองปลูกผักคะน้าในทรายโดยใช้แร่ชนิดต่างๆ	15
2.2.1 วิธีการทดลอง	15
2.2.2 ผลการทดลอง	15
2.3 การทดลองในแปลงปลูกคะน้า	17
2.3.1 วิธีทดลอง	17
2.3.2 ผลการทดลอง	21
2.4 การทดลองในกระหล่ำดอก	25
2.4.1 วิธีทดลอง	25
2.4.2 ผลการทดลอง	30
บทที่ 3 วิจารณ์ผลการทดลอง	32
บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัย	37
บรรณานุกรม	38
ภาคผนวก	39

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ค่าเฉลี่ยของความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกของแร่ที่ นำมาทดลอง	9
ตารางที่ 2.2	ค่าของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และค่าอินทรีย์วัตถุ ในแปลงคะน้า	9
ตารางที่ 2.3	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าความเค็ม และค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินแปลงคะน้า	10
ตารางที่ 2.4	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าความเค็ม และค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินแปลงกะหล่ำดอก	11
ตารางที่ 2.5	ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุต่างๆ ในแร่แต่ละชนิด	14
ตารางที่ 2.6	แสดงค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดของคะน้าแต่ละทรีตเมนต์	16
ตารางที่ 2.7	ชุดทดลองตามการจัดแบบ 2^4 Factorial และส่วนผสมของแต่ละทรีตเมนต์	19
ตารางที่ 2.8	การปฏิบัติงานในแปลงปลูกคะน้า	20
ตารางที่ 2.9	ผลผลิตจากแปลงคะน้า และผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT	22
ตารางที่ 2.10	ชุดทดลองตามการจัดแบบ 2^4 แฟกทอเรียล และส่วนผสมของแต่ละทรีตเมนต์	27
ตารางที่ 2.11	ตารางการปฏิบัติและดูแลแปลงเพาะกล้า	28
ตารางที่ 2.12	ตารางการปฏิบัติและดูแลแปลงทดลอง	29
ตารางที่ 2.13	ค่าเฉลี่ยของผลผลิตจากการทดลองในกะหล่ำดอก	31

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 แสดงโครงสร้างของเบนโทไนท์	3
ภาพที่ 1.2 แสดง SEM ของ Diatomite	4
ภาพที่ 2.1 IR ของดินในแปลงทดลอง	12
ภาพที่ 2.2 IR ของแร่ชนิดต่างๆ ที่ใช้ทดลอง	13
ภาพที่ 2.3 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของคะน้า	16
ภาพที่ 2.4 แผนผังแปลงปลูกคะน้า	18
ภาพที่ 2.5 อันตรกิริยาของการใช้แร่เบนโทไนท์ กับ พัมมิซ	23
ภาพที่ 2.6 อันตรกิริยาของการใช้แร่ เบนโทไนท์ พัมมิซ เบนโทไนท์โมดิไฟด์ร่วมกัน	24
ภาพที่ 2.7 แผนผังแปลงทดลองในกะหล่ำดอก	26
ภาพผนวกที่ 1 เมล็ดเริ่มงอก หลังหว่าน 3 วัน	40
ภาพผนวกที่ 2 คะน้าอายุ ได้17 วัน	40
ภาพผนวกที่ 3 ทำการปักหลักแบ่งเป็นแปลงย่อยเมื่อ คะน้าอายุ 21 วัน (ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1)	41
ภาพผนวกที่ 4 คะน้าอายุ 25 วัน ถอนแยกไว้ระยะห่าง ประมาณ 15 เซนติเมตร x 15 เซนติเมตร	41
ภาพผนวกที่ 5 คะน้าอายุได้ 30 วัน (ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2)	42
ภาพผนวกที่ 6 คะน้าอายุได้ 45 วัน (ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3)	42
ภาพผนวกที่ 7 สภาพต้นในวันเก็บเกี่ยวคะน้าที่อายุ 54 วัน	43
ภาพผนวกที่ 8 คะน้าส่วนใหญ่มีลำต้นที่อวบใหญ่และค่อนข้างสม่ำเสมอในวันเก็บผลผลิต	43

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำวิจัย

ชาวบ้านหลายร้อยหลังคาเรือน (มากกว่า 90%) ที่บ้านตะคลองเก่า ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เลี้ยงชีพด้วยการเพาะปลูกผัก เช่น ผักคะน้า กะหล่ำ ผักกวางตุ้ง ผักกาดขาว เป็นต้น มีพื้นที่ที่ทำการเพาะปลูกนับพันๆ ไร่ ผลกำไรที่เกษตรกรได้จากการเพาะปลูก หลังจากหักค่าใช้จ่ายต่างๆ แค่พอเลี้ยงครอบครัวเท่านั้น ไม่มีเงินออม ถ้าราคาผลผลิตตกต่ำก็มีภาระหนี้สินตามมา ทั้งนี้เนื่องจากต้นทุนการผลิตสูง เพราะปุ๋ยและยาฆ่าแมลงมีราคาแพง นอกจากนี้ผลผลิตที่ได้ยังถูกกำหนดราคาด้วยพ่อค้าคนกลาง การปลูกผักจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเป็นตัวเร่งการเจริญเติบโตเป็นปริมาณมาก พร้อมๆ กับต้องใช้ยาฆ่าแมลงที่ทำลายใบอ่อนของพืชเป็นประจำ แนวทางหนึ่งที่ใช้เพื่อทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นก็คือ การลดต้นทุนการผลิตโดยลดปริมาณปุ๋ยที่ใช้ โดยมีผลผลิตที่มีคุณภาพและมีปริมาณผลผลิตเท่าเดิมหรือดีกว่าเดิม แนวทางวิจัยครั้งนี้เน้นการนำแร่ชนิดต่างๆ ที่พบในประเทศซึ่งมีราคาถูกและมีคุณสมบัติช่วยในการกักเก็บแร่ที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชและแร่บางชนิดช่วยให้ดินร่วนซุยด้วยสามารถนำมาใช้ร่วมกับปุ๋ยเพื่อให้เหมาะแก่การเพาะปลูก และช่วยดูดซับอาหารพืชไว้ไม่ให้เกิดการสูญเสียปุ๋ยเนื่องจากการชะล้าง นอกจากนั้นแร่เหล่านี้ไม่เป็นพิษไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม และในทางตรงกันข้ามช่วยทำให้ระบบนิเวศน์ดีขึ้น แร่ดังกล่าวเป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต ดังเช่น แร่ดินและแร่หิน ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแผ่นเรียงเป็นชั้นๆ และมีโครงสร้างเป็นร่างแหและมีรูพรุนและพื้นผิวสูงและมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกได้ สมบัติดังกล่าวช่วยให้ดินมีศักยภาพในการเพาะปลูกสูงขึ้น เนื่องจากช่วยลดปริมาณปุ๋ยที่ใส่โดยที่ผลผลิตสูงขึ้น จะเห็นได้ว่าการนำแร่อะลูมิโนซิลิเกตที่มีอยู่ในประเทศซึ่งมีราคาถูกมาใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตร เพื่อลดต้นทุนในด้านการผลิตและยังช่วยปรับปรุงดินให้มีโครงสร้างที่ดีขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์โดยตรงแก่เกษตรกร และเป็นการลดการนำเข้าปุ๋ยเคมีจากต่างประเทศ ซึ่งเป็นการลดการเสียเปรียบดุลการค้าระหว่างประเทศอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาการนำแร่อะลูมิโนซิลิเกต เช่น เบนโทไนท์ (bentonite) พัมมิซ (pummice) และไดอะทอไมท์ (diatomite) ซึ่งมีองค์ประกอบเป็นซิลิกา มาใช้โดยตรงและหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรใช้ โดยใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแร่และปุ๋ยเคมีในการเพาะปลูก ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณการใส่ปุ๋ยแต่ยังคงผลผลิตที่มีคุณภาพและมีปริมาณสูงขึ้นพร้อมๆกับการศึกษาการนำมอดิไฟด์อะลูมิโนซิลิเกต (modified aluminosilicate) ที่ได้จากการใส่สาร เช่น Cu^{2+} และ Zn^{2+} ลงในแร่ ผลที่ได้จากการวิจัยจะช่วยลดต้นทุนการเพาะปลูก ลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี ลดปัญหาการทำลายสิ่งแวดล้อม เนื่องจากแร่อะลูมิโนซิลิเกตไม่เป็นพิษและรักษาสิ่งแวดล้อม และเป็นการเพิ่มศักยภาพการนำแร่มาใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตร ในการทดลองครั้งนี้พืชที่ใช้ทดลอง คือ ผักคะน้า และผักกะหล่ำ และใช้แปลงผักของชาวบ้านตะคลองเก่า อ.เมือง จ.นครราชสีมา เป็นสถานที่ทดลอง

1.3 แร่ดินและแร่หิน

ผงหินภูเขาไฟมีศักยภาพอย่างสูงสำหรับสร้างผลผลิตทางการเกษตร เนื่องจากผงหินภูเขาไฟส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐาน (noncrystalline) ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงอัตราส่วนของ reactive site มาก น้ำหนักเบา ด้วยลักษณะโครงสร้างแบบอสัณฐานนี้ ทำให้มีคุณสมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ของผงหินภูเขาไฟมีมากและหลากหลาย ซึ่งมีคุณสมบัติบางอย่างเช่น การเก็บกักน้ำ (water retention) ความจุของการแลกเปลี่ยนประจุ (cation exchange capacity) มีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนโมเลกุลระหว่าง SiO_2/Al_2O_3 ที่เป็นตัวชี้วัดคุณสมบัติของดินภูเขาไฟ

พัมมิซ (pumice) เป็นหินภูเขาไฟที่เกิดจากลาวาที่เต็มไปด้วยช่วงว่างพรุน ลาวาจากภูเขาไฟที่พุ่งขึ้นไปในอากาศ ระหว่างการระเบิดของภูเขาไฟ เมื่อลาวาตกลงมาผ่านอากาศแล้วเย็นตัวลงทำให้มีช่องว่างเกิดขึ้น พัมมิซจึงมีน้ำหนักเบาและอาจลอยน้ำได้ เมื่อนำพัมมิซมาบดให้ละเอียดจะได้ผงหินพัมมิซนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การทำสบู่ ผงขัดทำความสะอาด เป็นต้น

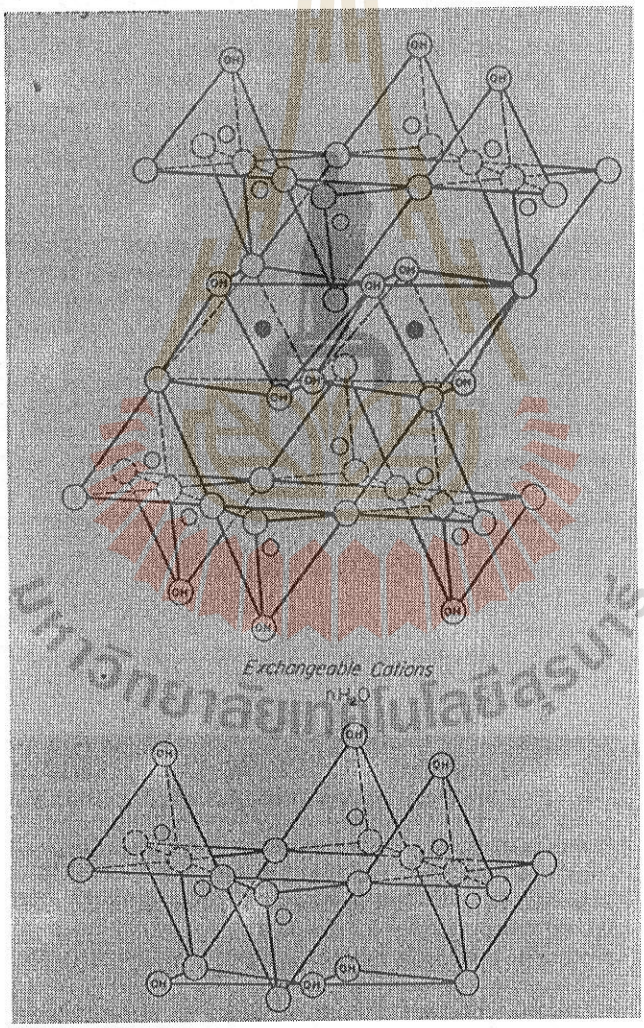
เบนโทไนท์ (bentonite) หรือ มอนต์โมริลโลไนต์ เป็นแร่ดิน (clay mineral) ที่มีโครงสร้าง เป็น smectite mineral (ดูภาพที่ 1.1) โครงสร้างเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นเป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกตของ SiO_4 tetrahedra และ AlO_6 octahedra มีสูตรเคมีคือ $M^{+}_{x+y}(Al, Fe^{3+})_{4-y}(Fe^{2+}, Mg)_y [Si_{8-x} Al_x O_{20}](OH)_4.nH_2O$ เมื่อ M^+ คือ อัลคาไลท์แคตไอออนที่อยู่ระหว่าง ชั้นอะลูมิโนซิลิเกต M^+ ที่อยู่ระหว่างชั้นสามารถแลกเปลี่ยนอิออนจากสารละลายภายนอกได้ดังนั้นแร่ดินโดยเฉพาะเบนโทไนท์เป็นแร่ดินที่มีค่าการแลกเปลี่ยนอิออนค่อนข้างสูง (Grim, 1968) แร่ดินเป็นแร่ที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น จากเถ้าของลาวา ตะกอนของหิน เป็นต้น ประกอบด้วยอะลูมินา ซิลิเกต เป็นหลักและมีแร่อื่น เช่น เหล็ก อัลคาไลน์ อัลคาไลน์เอิร์น สีของเบนโทไนท์มีหลายสี ตั้งแต่สีขาวไปจนถึงสีเขียวม่วง สีครีม สีเลือง สีแดง สีน้ำตาล และบางครั้งมีสีน้ำเงินเมื่อเกิดการระเบิดของภูเขาไฟในช่วงต้นแล้วกลับเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอย่างรวดเร็วเมื่อเปียกน้ำจะคล้ายพลาสติกและลื่นๆ เหมือน

แวกซ์ หรือ กรีส (Grease) เบนโทไนท์แบ่งออกได้ 2 ชนิด ขึ้นอยู่กับว่ามีโซเดียมหรือแคลเซียมปนอยู่ในโครงสร้าง

1. เบนโทไนท์อุ้มน้ำ (swelling bentonites) เป็นชนิกโซเดียมเบนโทไนท์ มีโซเดียมอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล มีคุณสมบัติอุ้มน้ำได้ดีเยี่ยม

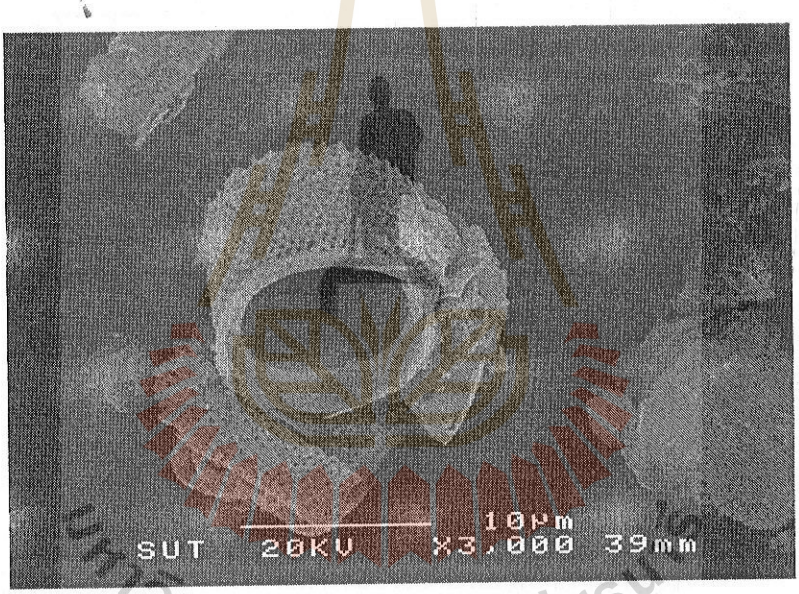
2. เบนโทไนท์ไม่อุ้มน้ำ (nonsweling bentonite) เป็นชนิดแคลเซียมเบนทไนท์ มีแคลเซียมอยู่ในโครงสร้างความจุในการอุ้มน้ำต่ำ

มีการนำเบนโทไนท์ไปใช้ในลักษณะต่างๆ เช่น ผสมน้ำเพื่อช่วยหล่อลื่นในการตัดชิ้นงานสารยึดเหนี่ยวสำหรับแร่เหล็กก่อนนำไปหลอม สารยึดเหนี่ยว และสารดูดซับ เป็นต้น



ภาพที่ 1.1 โครงสร้างของ Smectite mineral

ไดอะทอไมท์ (diatomite) หรือที่รู้จักกันในชื่อ diatomaceous earth หรือ kieselguhr ชื่อภาษาไทยว่าดินเบา ไดอะทอไมท์เป็นหินตะกอน (sedimentary rock) ซึ่งประกอบด้วยซากไดอะทอไมท์เป็นส่วนใหญ่ซึ่งขณะที่ไดอะตอมมีชีวิตอยู่จะแขวนลอยอยู่ตามผิวน้ำและมีความสามารถพิเศษในการดึงเอาซิลิกาที่ละลายอยู่ในน้ำไปสร้างเป็นโครงร่างของตัวมันเอง ไดอะทอไมท์เกิดจากซากขนาดเล็กที่เป็นสัตว์ ส่วนมากจะเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว มีเปลือกแข็งห่อหุ้ม จึงสามารถคงสภาพของซากอยู่ในชั้นหินได้ เช่น พวกเรดิโอราเรีย พวกไดอะตอมที่เป็นสาหร่ายเซลล์เดียว และมีเปลือกหุ้มที่เป็นซิลิกา เปลือกเหล่านี้เมื่อทับถมกันมาก ๆ เป็นเวลานานก็แข็งตัวอัดกันแน่นมากเป็นหิน ดังนั้นซากไดอะทอไมท์จึงประกอบด้วยซิลิกาที่เนียนละเอียดมาก ซิลิกาส่วนใหญ่จะเป็นซิลิกาแบบอสัญฐาน (amorphous) ไดอะทอไมท์ที่เป็นการค้าโลกประกอบด้วยซิลิกาประมาณ 86-94% ส่วนไดอะทอไมท์จากแหล่งลำปาง มีซิลิกา (SiO_2) อยู่ประมาณ 72% และอะลูมินา (Al_2O_3) 14.6% และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) 5.8% (Aphiruk, 2004)



ภาพที่ 1.2 SEM ของ Diatomite

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย

2.1 การวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพของเนื้อดินและแร่

2.1.1 วิธีการทดลอง

2.1.1.1 วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของธาตุต่างๆที่มีอยู่ในแร่ทั้ง 3 ชนิด

ด้วย Oxford ED-2000 High Performance Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer

2.1.1.2 การวิเคราะห์ Cation Exchange Capacity (CEC) (1 M NH_4OAc pH 7.0)

1. ชั่งตัวอย่างดินด้วยเครื่องชั่ง (มีความละเอียด 0.01 กรัม) จำนวน 10 กรัม เติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต (NH_4OAc) ที่มี pH 7.0 (ปรับ pH ด้วย กรดอะซิติกและเกลือโซเดียมอะซิเตต) เข้มข้น 1 M จำนวน 250 มล. เขย่าให้ดินและสารละลายเข้ากันทิ้งไว้ค้างคืน กรองด้วยชุดลดความดันโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 วางบน buchner funnels ชะดินด้วย 1 M NH_4OAc pH 7.0 ทีละน้อยๆ ในขณะที่ชะดินต้องระวังอย่าให้ดินแห้ง ทำการชะดินไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่มี Ca ออกมาในสารละลาย (การทดสอบ Ca ใช้ 1 NH_4Cl, 10% ammonium oxalate และ dilute NH_4OH อย่างละ 2-3 หยด ใส่ลงไปในสารละลายที่จะทดสอบนำไปอุ่นจนเกือบเดือดถ้ามี Ca จะเห็นตะกอนขุ่นเกิดขึ้น

2. นำดินที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตตจากข้อ1. จากนั้นนำมาล้างต่อด้วย 1 M NH_4OH จำนวน 4 ครั้ง และ 0.25 M NH_4OH จำนวน 1 ครั้ง หลังจากนั้นล้างดินด้วย 99% isopropyl alcohol จำนวนประมาณ 150 มล. การล้างก็ค่อยๆกระทำทีละน้อยจนไม่มี Cl^- เหลืออยู่ (ใช้ 0.1 M $AgNO_3$ ทดสอบถ้ามี Cl^- จะได้ตะกอนขาวขุ่นของ AgCl) ทิ้งไว้สักครู่เพื่อให้ดินหมาด แต่ต้องระวังอย่าให้ดินแตกระแหง

3. นำดินจากข้อ 2. มาทำการไล่ NH^+_4 ที่ดูดซับอยู่ที่ผิว ดินด้วย สารละลาย acedified NaCl (นำNaCl 100 กรัมละลายน้ำจนได้ปริมาตร 1 ลิตรแล้วหยด conc. HCl 0.5 มล.) การไล่ NH^+_4 ต้องทำอย่างช้าๆ เช่นเดียวกับการไล่ Ca ในตอนแรก จนกระทั่งได้ สารละลายหลังการชะ (leachate) ประมาณ 225 มล. แล้วจึงหยุด ถ่ายสารละลายนี้ลงไปในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มล. ปรับปริมาตรให้ได้ 250 มล. โดย

การเติม สารละลาย acedified NaCl ลงไปในขวดปิดฝาจุกให้แน่น ถ้าต้องการเก็บตัวอย่าง (aliquot) นี้ไว้เกิน 3 วัน ต้องหยด toluene จำนวน 3 หยด ลงไปใน flask แล้วเขย่าให้เข้ากันทันที

4. การวิเคราะห์ NH^{+}_{4} ที่ดินดูดซับไว้ โดยแบ่ง aliquot 20 มล. ลงไปใน Kjeldahl flask ขนาด 250 มล. และต่อเข้ากับเครื่องกลั่นทันที

5. เตรียม ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มล. เติม boric acid indicator solution 20 มล. วางไว้ที่ปลาย condenser โดยที่ปลายของก้าน condenser จุ่มอยู่ในระดับของ boric acid indicator solution กลั่นจนได้ปริมาตรใน ขวดรูปชมพู่ให้ได้ปริมาตรประมาณ 80 มล. ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำมาไทเทรตด้วย 0.05 M HCl จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณค่า CEC

2.1.2.3. การวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ชั่งตัวอย่างดินปริมาณ 1 กรัม เติมน้ำปราศจากอิออนปริมาตร 50 มล. เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ข้ามคืน แล้ว calibrate เครื่อง pH meter ด้วย buffer pH 4 และ 7 วัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter

2.1.1.4 การวัดค่า conductivity ของดิน

ชั่งตัวอย่างดินปริมาณ 1 กรัมเติมน้ำปราศจากอิออนปริมาตร 50 มล.เขย่าแล้วทิ้งไว้ข้ามคืน calibrated เครื่อง conductometer ด้วย 0.1 M KCl วัดค่า conductivity

2.1.1.5 วิธีวิเคราะห์ organic matter (O.M.) ในดิน

1. ชั่งดิน 0.5 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ เติม 1 N $K_2Cr_2O_7$ ปริมาตร 5 มล. แกว่งขวดรูปชมพู่เบาๆ เพื่อให้ดินกระจายตัวอยู่ในสารละลายเติมกรด H_2SO_4 เข้มข้น ปริมาตร 10 มล. อย่างรวดเร็ว และแกว่งขวดเบาๆ ทันที จนกระทั่งดินและสารเคมีผสมเข้ากันเป็นเวลา 1 นาที

2. ตั้งทิ้งไว้ในตู้ดูดควันเป็นเวลาประมาณ 5 นาทีเติมน้ำกลั่น 15 มล. ลงในขวดรูปกรวย และเติมอินดิเคเตอร์ O-phenantholine 2-3 หยด ไตรเตรทด้วย 0.5 N $FeSO_4$ ที่จุดยุติสีจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

3. หาปริมาณ blank ในกรณีเดียวกันโดยไม่ใช้ตัวอย่างดิน

4. บันทึกปริมาณของ $K_2Cr_2O_7$ และ $FeSO_4$ ที่ใช้ แล้วคำนวณปริมาณของ O.M. จากสูตร เมื่อ correction factor เท่ากับ 1.3

$$\% \text{ O.C.} = \frac{(\text{meq.}K_2Cr_2O_4 - \text{meq.}FeSO_4)\ (0.003)\ (100) \times F}{\text{Weight of sample in grams}}$$

$$\%\text{O.M.} = \% \text{ O.C.} \times 1.72$$

2.1.1.6 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณ Exchangeable Potassium (K) ในดิน

ชั่งตัวอย่างดินด้วยเครื่องชั่ง (มีความละเอียด 0.0001 กรัม) ปริมาณ 5 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล. เติม 1 N NH_4OAc 50 มล. เขย่าให้ดินและน้ำยาเข้ากันเป็นเวลา 30 นาที กรองแยกสูญญากาศด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ถ่าย leachate ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มล. ปรับปริมาตรด้วย 1 N NH_4OAc ให้ครบ 100 มล. นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียม ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer คำนวณค่า K จากสูตร

$$\text{ppm K in soil} = \frac{\text{ppm K in soil solution x extracting solution}}{\text{Weight of sample of grams}}$$

2.1.1.7 วิธีการวิเคราะห์ available phosphorus (P)

1. ชั่งดิน 2.5 กรัม ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มล. เติมน้ำยาสกัดลงในขวดรูปชมพู่ เขย่าประมาณ 1 นาที กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1

2. ปิเปตสารละลายที่กรองได้ปริมาตร 2 มล. ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มล. เติมน้ำยา Bray II (0.03 N ammonium fluoride ใน 0.1 N HCl) เพื่อฟอร์มสี และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ตั้งสารละลายทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที

3. วัดค่า transmittances ของสารละลายด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร โดยทำสารละลายมาตรฐานเปรียบเทียบ พล็อตกราฟมาตรฐานระหว่างค่า transmittances ของสารละลายมาตรฐาน กับความเข้มข้นของ P ในหน่วย ppm

4. คำนวณความเข้มข้นของ exchangeable P จากสูตร

$$\text{ppm P in Soil} = \frac{\text{X x Y x final volume (ml.)}}{\text{aliquot used (ml.)}}$$

X = ratio of solution : soil Y = ppm P from standard curve

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.1.1.8 การวิเคราะห์ไนโตรเจน (N)

1. การย่อยดิน

1.1 ชั่งดินตัวอย่างที่บดผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh (0.15 มม.) จำนวน 0.5-1 กรัม (หรือดินที่มีไนโตรเจนเท่ากับ 1 มิลลิกรัม) ใน micro-Kjeldahl digestion flask

1.2 เติม catalyst mixture 1.1 กรัม (KSO_4+$CuSO_4.5H_2O$+Se powder)

1.3 เติม H_2SO_4 เข้มข้น 15 มล. เขย่า flask เบาๆ ให้ดินผสมกับกรด

1.4 ตั้ง flask บนเตาสำหรับ digest ในระยะแรกใช้ไฟอ่อน (ประมาณ 150 °ซ) เมื่อสีดำเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเพิ่มไฟให้ร้อนขึ้น digest จนได้สารละลายใส และ digest ต่อไปอีกประมาณ 1 ชั่วโมง (ความร้อนที่เหมาะสมคือควันสีขาวของกรด H_2SO_4 จะขึ้นไปประมาณ 1 / 3 ของคอ flask) ในระหว่างการ digest ควรเขย่า flask เป็นระยะๆ เพื่อให้กรดละลายดินที่อาจติดอยู่ข้าง flask ลงมา

1.5 ยก flask ลงตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่นประมาณ 20 มล. อย่างช้าๆ พร้อมทั้งแกว่ง flask ไปรอบๆ เพื่อให้ของเหลวผสมกันให้ดี ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นจึงนำไปกลั่น

1.6 Digest blank ในลักษณะเดียวกับตัวอย่าง

2. การกลั่น ใช้เครื่องกลั่นแบบอัตโนมัติ

3. การคำนวณ หา % N จากสูตร

$$\%\ N = \frac{(\text{sample titer} - \text{blank titer}) \times \text{Normality ของกรด} \times 14 \times 100}{\text{น.น.ตัวอย่าง (กรัม)} \times 1000}$$

2.1.1.9 วิธีการเตรียม เบนโทไนท์ โมดิไฟด์ (bentonite modified)

1. โมดิไฟด์ด้วยการเติมธาตุทองแดง (Cu) โดยละลาย $CuSO_4.5H_2O$ ปริมาณ 500 กรัม ด้วยน้ำประปาปริมาตร 40 ลิตร ค่อยๆ เติมเบนโทไนท์ น้ำหนัก 25 กิโลกรัมลงไปทีละน้อยๆ พร้อมกับคนให้เข้ากัน ตลอดเวลา แล้วแช่ทิ้งไว้ 2 วัน

2. โมดิไฟด์ด้วยการเติมธาตุสังกะสี (Zn) โดยสารละลาย $ZnSO_4.7H_2O$ ทำเช่นเดียวกับข้อ 1

3. ตากดินที่โมดิไฟด์จากข้อ 1 และ ข้อ 2 ไว้ในที่ร่มจนกระทั่งดินแห้ง จึงบดให้เป็นผงละเอียด

4. นำเบนโทไนท์ และเบนโทไนท์ที่โมดิไฟด์ด้วยการเติมธาตุทองแดง และเบนโทไนท์ที่โมดิไฟด์ด้วยการเติมธาตุ สังกะสี มาผสมให้เข้ากันในอัตราส่วน 1 : 1 : 1 ก่อนนำไปทดลอง

2.1.1.10 การเก็บตัวอย่างดิน ก่อน และหลังทดลอง

ก่อนทำการทดลองเก็บตัวอย่างดินจากแปลงทดลองโดยการสุ่มเก็บ 10 จุด เพื่อทดสอบค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ค่าความเค็มของดิน ค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวก ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน ธาตุไนโตรเจนทั้งหมด (N) ธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) และ ธาตุโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_2O) หลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตจึงเก็บตัวอย่างดินของแต่ละทรีตเมนต์ ทั้ง 3 ซ้ำ(ดูหัวข้อ 2.3.1วิธีทดลอง) จากนั้นนำดินในทรีตเมนต์เดียวกันมารวมกัน บดให้ละเอียดแล้วร่อนผ่านตระแกรง 2 มิลลิเมตร นำมาหาค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกของแต่ละทรีตเมนต์

2.1.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 2.1 ค่าเฉลี่ยของความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และ ค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกของแร่ที่นำมาทดลอง

ชนิดของแร่	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า	ค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cmol/kg)
เบนโทไนท์	9.53	154.60	64.53
ไดอะทอไมท์	4.47	220.00	26.00
เบนโทไนท์โมดิไฟด์	9.42	354.00	77.99
พัมมิซ	6.93	27.10	8.20
น้ำกลั่น	7.09	1.05	-

ตารางที่ 2.2 ค่าของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และค่าอินทรีย์วัตถุ ในแปลงคะน้า

ลำดับ	ตัวอย่างดิน	ไนโตรเจน (%)	ฟอสฟอรัส ($mg.kg^{-1}$)	โพแทสเซียม ($mg.kg^{-1}$)	ค่าอินทรีย์วัตถุ (%)
1	ก่อนทดลอง	0.11	0.55	87.95	1.25
2	หลังทดลอง	0.0075	4.50	65.50	1.26

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.3 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าความเค็ม และ ค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินแปลงคะน้า

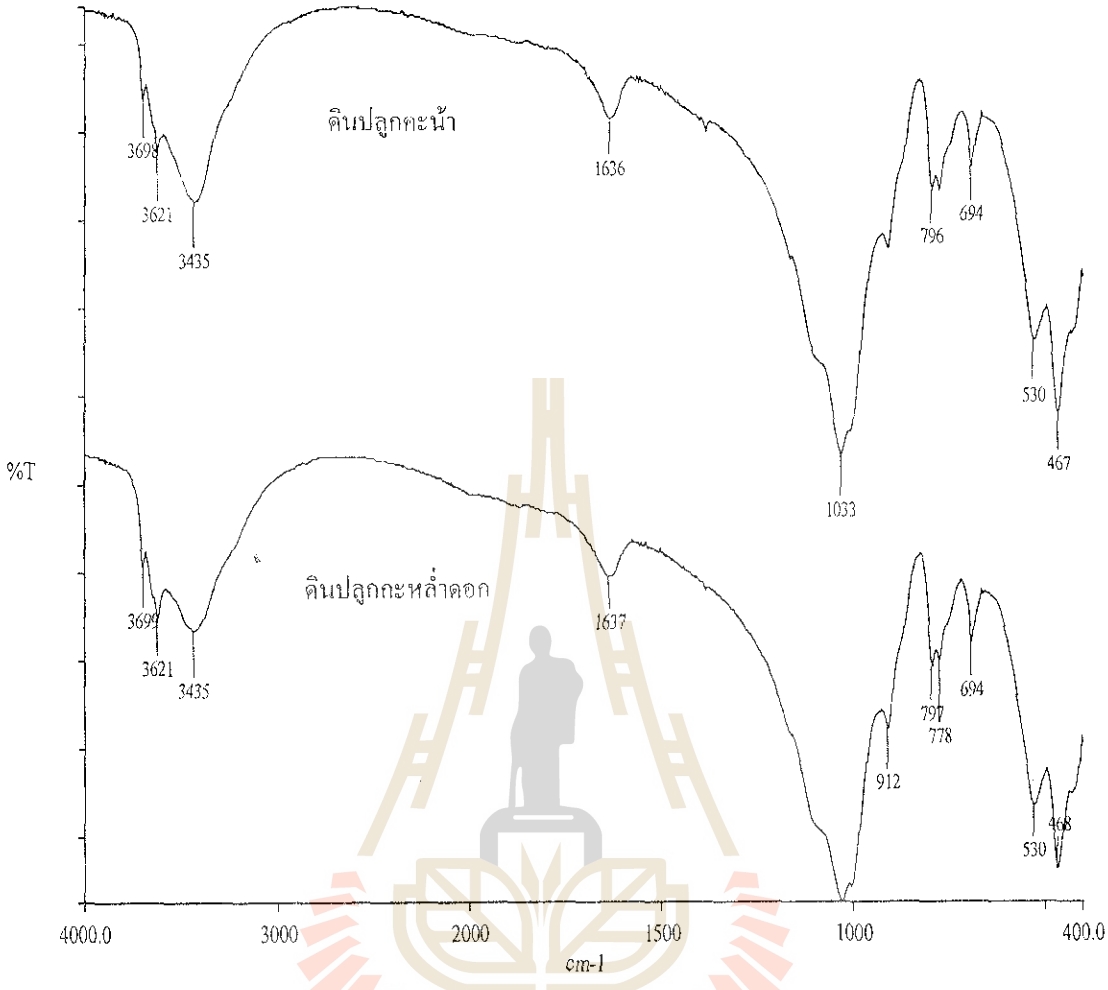
แปลงที่เก็บตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า	ค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cmol/kg)
ดินก่อนการทดลอง	6.8	84.50	37.14
15-15-15 + 46-0-0	6.62	88.00	47.82
เบนโทไนท์ (A)	6.77	89.00	36.21
ไดอะทอไมท์ (B)	6.85	74.00	39.46
A + B	6.83	84.00	37.14
พัมมิซ (C)	6.53	65.30	36.99
A + C	6.40	75.10	31.41
B + C	6.68	100.10	36.83
A + B + C	6.79	93.40	35.75
โมดิไฟด์ (D)	6.78	81.60	37.14
A + D	6.61	85.30	31.88
B + D	6.53	78.70	33.89
A + B + D	6.66	62.20	34.51
C + D	6.79	73.00	36.88
A + C + D	6.53	70.50	31.51
B + C + D	6.63	80.00	36.06
A + B + C + D	6.69	79.60	35.44

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.4 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าความเค็ม และค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินแปลงกะหล่ำดอก

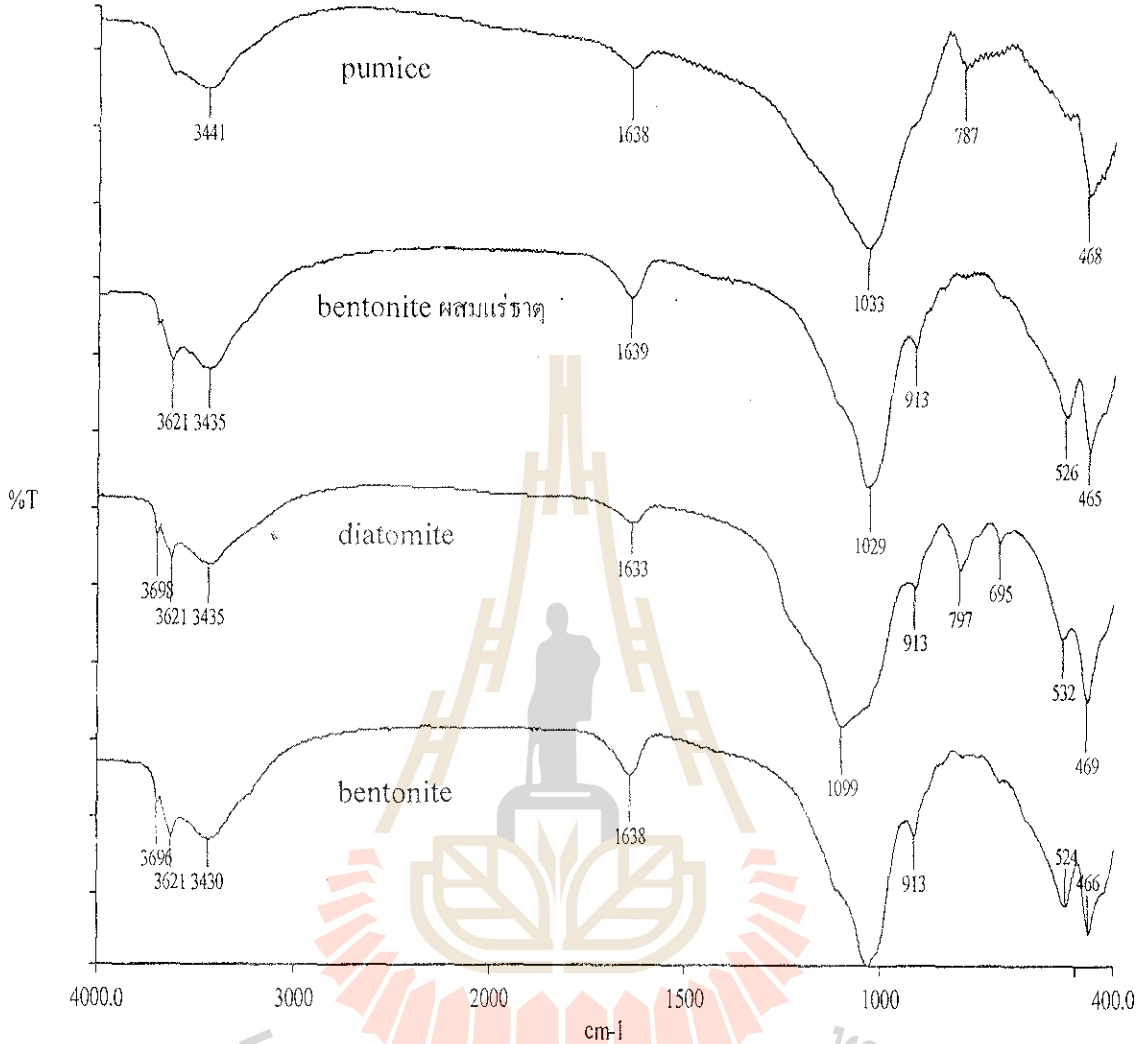
แปลงทดลอง	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	ค่าความเค็ม	ค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cmol/kg)
ดินก่อนการทดลอง	6.12	109	37.13
15-15-15 + 46-0-0	6.13	124	34.97
เบนโทไนท์ (A)	6.17	165	37.29
ไดอะทอไมท์ (B)	5.96	131	37.45
A + B	6.25	129	37.29
พัมมิซ (C)	5.89	144	34.45
A + C	6.39	117	37.14
B + C	5.66	103	37.29
A + B + C	6.17	112	31.57
โมดิไฟด์ (D)	5.85	129	40.85
A + D	6.08	190	34.97
B + D	5.92	114	37.45
A + B + D	6.05	148	35.59
C + D	6.12	103	40.85
A + C + D	6.47	192	38.38
B + C + D	6.51	135	37.29
A + B + C + D	6.58	206	37.45

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 2.1 IR ดินในแปลงทดลอง

จากสเปกตรัมของดินในแปลงปลูกกะน้าและกะหล่ำของเกษตรกรสวนผักแสดงให้เห็นว่าดินนี้มีแร่ดินขาว cm^{-1} (kaolinite) ผสมอยู่โดยพิจารณาจากพีก (peak) ที่คมชัดเกิดที่ตำแหน่งสองที่ คือ 3699 cm^{-1} และ 3621cm^{-1} ซึ่งเป็นคุณลักษณะ(characteristic) ของดินขาว นอกจากนี้ พีกที่ตำแหน่ง 797 cm^{-1} และ 778 cm^{-1}เป็นการย้ำถึงพีกของแร่ดินขาว ซึ่งระบุถึงความเป็นระเรียบของโครงสร้างแร่ดินขาว (Wilson, M. J.,1994) เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออนของแร่ดินขาวและเบนโทไนท์ ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าดินขาวมีค่าการแลกเปลี่ยนอิออนน้อยกว่าเบนโทไนท์ประมาณ 3-4 เท่า



ภาพที่ 2.2 IR ของแร่ชนิดต่างๆ ที่ใช้ทดลอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สเปกตรัมของแร่ต่างๆ แสดงในภาพ 2.2 แร่เบนโทไนท์มีพีกที่เป็นคุณลักษณะของเบนโทไนท์อยู่ที่พีก 3621 cm^{-1} พีกเดียวเท่านั้น พีกที่ 3430-3440 cm^{-1} เป็นพีกเนื่องจากการสั่นของโมเลกุลน้ำ จากสเปกตรัมของไดอะทอไมท์ แสดงถึงมีการเจือปนของแร่ดินขาว

ตารางที่ 2.5 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุต่างๆ ในแร่แต่ละชนิด

ธาตุองค์ประกอบ	พัมมิซ	ไดอะตอมไมท์	เบนโทไนท์	หมายเหตุ
P_2O_5 (wt %)	0.045	0.131	0.244	ธาตุหลัก
K_2O (wt %)	4.851	1.722	0.752	
MgO (wt %)	0.092	0.527	2.567	
S (wt %)	0.044	0.064	0.117	ธาตุรอง
CaO (wt %)	1.099	0.106	2.817	
Mn (mg / kg)	0.000	0.000	10452.065	
Fe_2O_3 (mg / kg)	1.985	7.815	12.006	จุลธาตุ
Cu (mg / kg)	26.422	34.018	28.987	
Zn (mg / kg)	0.000	14.057	72.626	
Na_2O (wt %)	1.548	1.678	1.060	
Al_2O_3 (wt %)	14.049	13.987	15.696	
SiO_2 (wt %)	74.462	67.978	39.231	ธาตุเสริมประโยชน์
Co (mg / kg)	4.271	20.237	23.812	
Sr (mg / kg)	101.382	57.854	468.181	
Sc (mg / kg)	15.527	10.439	10.322	
Ti (mg / kg)	1.431	0.788	0.000	
Cr (mg / kg)	0.000	123.913	88.602	
As (mg / kg)	17.575	16.919	17.965	
Rb (mg / kg)	165.876	189.177	208.543	ธาตุอื่นๆ
Sn (mg / kg)	0.000	0.000	25.968	
Cs (mg / kg)	15.423	9.506	4.318	
Ba (mg / kg)	564.828	406.290	128.091	
Pb (mg / kg)	0.000	0.000	0.000	
LOI	5.5232	7.0367	10.6316	
MOI	2.2718	14.7902	13.1944	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.2 การทดลองในกระถางการทดลองปลูกผักคะน้าในทรายโดยใช้แร่ชนิดต่างๆ

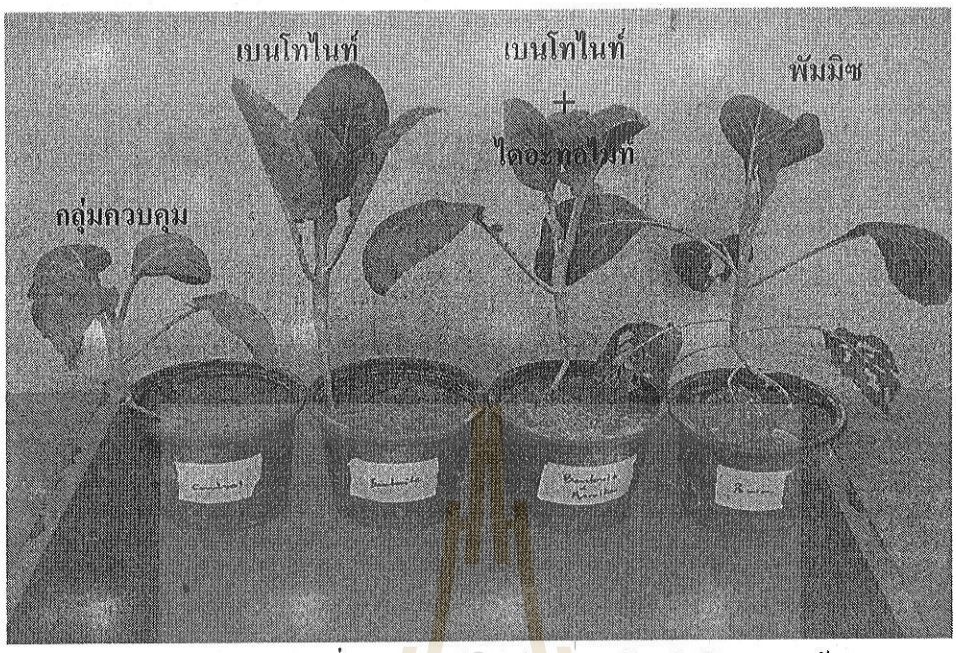
2.2.1 วิธีการทดลอง

1) เตรียมทรีตเมนต์ต่างๆ ดังต่อไปนี้
   - 1.1 ทรีตเมนต์ควบคุม
   - 1.2 ใส่แร่เบนโทไนท์อย่างเดียว
   - 1.3 ใส่แร่ไดอะทอไมท์อย่างเดียว
   - 1.4 ใส่แร่พัมมิซอย่างเดียว
   - 1.5 ใส่แร่เบนโทไนท์ร่วมกับไดอะทอไมท์
   - 1.6 ใส่แร่เบนโทไนท์ร่วมกับพัมมิซ
   - 1.7 ใส่แร่ไดอะทอไมท์ร่วมกับพัมมิซ
   - 1.8 ใส่แร่เบนโทไนท์ ร่วมกับ ไดอะตอมไมท์ และ พัมมิซ
2) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 4 ซ้ำ ๆ ละ 5 กระถางต่อทรีตเมนต์ โดยใช้กระถางขนาด 6 นิ้ว ใส่ทรายหยาบ 3 ส่วน ผสมกับ แร่ 1 ส่วน ต่อกระถาง คลุกให้เข้ากัน
3) ย้ายต้นกล้าคะน้ายอดพันธุ์บางกอก อายุ 20 วัน ลงกระถาง
4) ให้ปุ๋ย 15-15-15 อัตรา 0.5 กรัม ต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยทางใบ เมื่อคะน้า อายุ 15 วันหลังย้ายกล้า เมื่อต้นคะน้าอายุ 35 วัน ใส่ปุ๋ย สูตร 15-15-15 อัตรา 1.5 กรัมต่อต้น พร้อมกับฉีดพ่นปุ๋ยทางใบ สังเกตการเจริญเติบโตของต้นคะน้า หลังใส่ปุ๋ยครั้งสุดท้าย
5) เมื่อต้นคะน้าอายุ 60 วัน จึงเก็บตัวอย่างและชั่งน้ำหนัก

2.2.2 ผลการทดลอง

จากภาพที่ 2.3 และตารางที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่า กลุ่มที่ใส่แร่ชนิดต่างๆ ทำให้ต้นคะน้าที่ทำการทดลองมีน้ำหนักแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับกลุ่มที่ไม่ใส่แร่ (กลุ่มควบคุม) เมื่อเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างกันซึ่งพบว่ากลุ่มที่ใส่แร่มีน้ำหนักมากกว่ากลุ่มควบคุมถึง 168.73–209.61 เปอร์เซ็นต์ ในกลุ่มที่ใส่แร่พบว่าแร่เบนโทไนท์มีแนวโน้มให้ค่าน้ำหนักเฉลี่ยของคะน้าสูงกว่าการใส่แร่ชนิดอื่นๆ และการใส่แร่พัมมิซให้ค่าน้ำหนักเฉลี่ยต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ทางสถิติระหว่างกลุ่มที่ใส่แร่ชนิดต่างๆ นั้น พบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติของแต่ละทรีตเมนต์

ในการเปรียบเทียบครั้งนี้เป็นผลจากการทดลองในกลุ่มประชากรขนาดเล็ก ใช้ตัวอย่างเพียง 5 ต้นต่อทรีตเมนต์เท่านั้น และแนวโน้มของความแตกต่างดังกล่าวอาจมีผลต่อความแตกต่างของปริมาณผลผลิตสดและรายได้ของเกษตรกรที่ใช้พื้นที่ปลูกจำนวนหลายไร่ จึงทำการทดสอบผลของการใช้แร่ในสภาพการปลูกจริงในพื้นที่ของเกษตรกรต่อไป



ภาพที่ 2.3 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของคะน้า

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดของคะน้าแต่ละทรีตเมนต์

ทรีตเมนต์	น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น (กรัม) †	ความแตกต่างจากกลุ่มควบคุม (%)
1. กลุ่มควบคุม	26.64 b[1/]	100.00
2. แร่เบนโทไนท์อย่างเดียว	55.84 a	209.61
3. แร่ไดอะทอไมท์อย่างเดียว	53.35 a	200.26
4. แร่พัมมิซอย่างเดียว	40.33 a	151.39
5. แร่เบนโทไนท์ร่วมกับไดอะทอไมท์	55.33 a	207.70
6. แร่เบนโทไนท์ร่วมกับพัมมิซ	46.24 a	173.57
7. แร่ไดอะทอไมท์ร่วมกับพัมมิซ	44.95 a	168.73
8. แร่เบนโทไนท์ร่วมกับไดอะทอไมท์ และพัมมิซ	45.03 a	169.03

† การวิเคราะห์วาเรียนซ์ (ANOVA) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

1/ ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ค่าที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.3 การทดลองในแปลงปลูกคะน้า

2.3.1 วิธีทดลอง

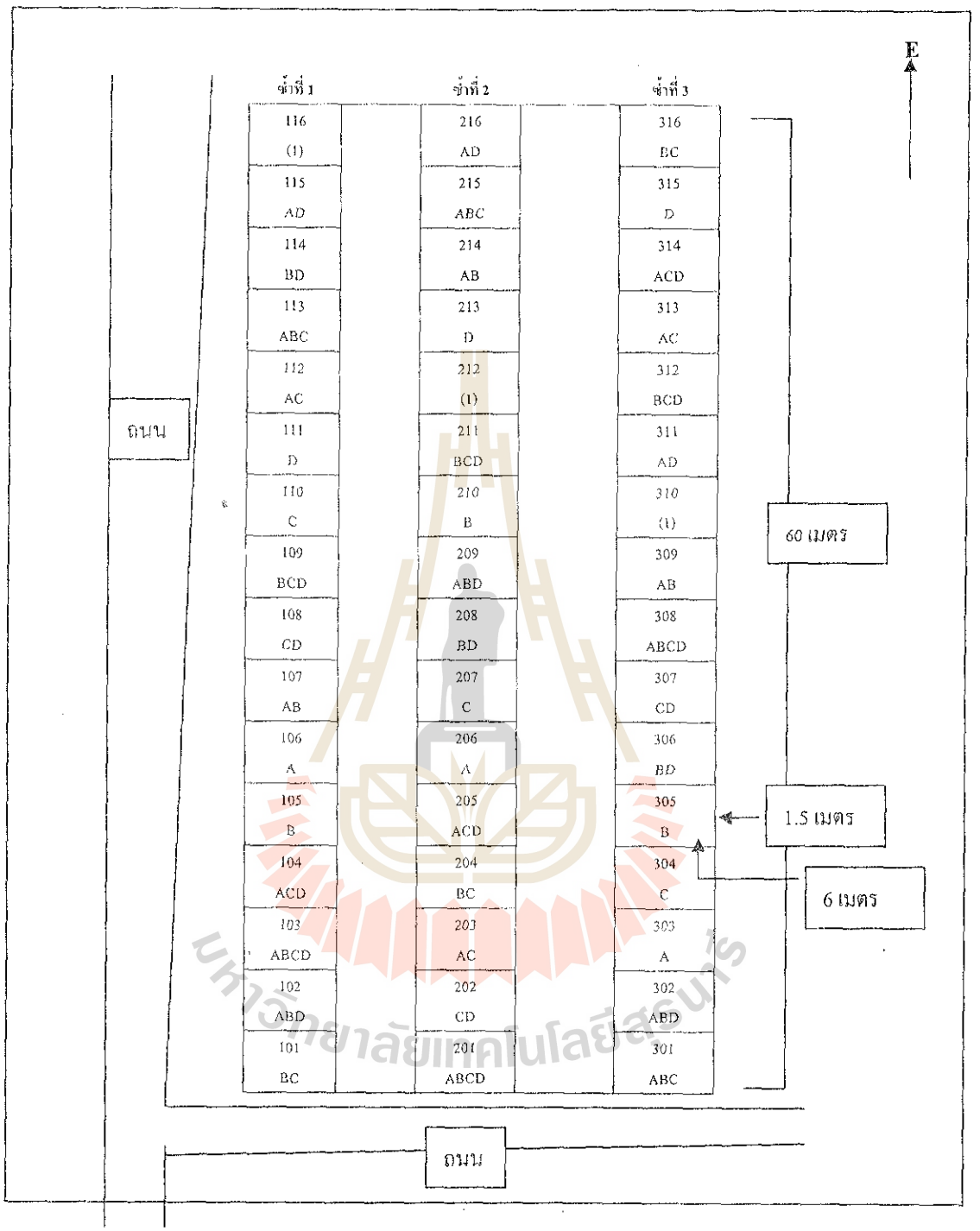
สำรวจพื้นที่และวางแผนการทดลอง โดยการจัดปัญหาทดลองแบบ แฟกตอเรียล (factorial) ในการทดลองที่มีปัญหา 4 แฟกเตอร์ คือ แร่ 4 ชนิด ได้แก่ แร่เบนโทไนท์ แร่ไดอะทอไมท์ แร่พัมมิซ และ แร่เบนโทไนท์โมดิไฟด์ ซึ่งแต่ละแฟกเตอร์มี 2 ระดับ คือ 1) การใส่แร่ และ 2) การไม่ใส่แร่ เมื่อจัดองค์ประกอบ (combination) ของแร่ทั้ง 4 ชนิดจะได้กลุ่มทดลอง 16 ทรีตเมนต์ (ตารางที่ 2.7) นำทรีตเมนต์ทั้งหมดไปทดลองในแปลงโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (randomized complete block design: RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ในแต่ละซ้ำแบ่งเป็นแปลงย่อยๆ ที่มีขนาดความกว้าง 1.5 เมตร และความยาว 6 เมตร จำนวน 16 แปลงย่อย และสุ่มวางทรีตเมนต์ตามแผนผังดังภาพ 2.4

1) การคำนวณปุ๋ย

ใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ตราเรือใบผสมกับปุ๋ยสูตร 46-0-0 ตราเรือใบในอัตราส่วน 1 : 1 ใส่ปุ๋ยในอัตรา 90 กิโลกรัมต่อไร่ ดังนั้น 1 แปลงย่อยที่ทำการทดลองมีพื้นที่ 9 ตารางเมตร จะต้องใส่ปุ๋ย 0.5 กิโลกรัมต่อแปลง กลุ่มควบคุมใช้ปุ๋ย 0.5 กิโลกรัม ซึ่งได้จากการผสมระหว่าง ปุ๋ย 15-15-15 กับ ปุ๋ย 46-0-6 หนักอย่างละ 0.25 กิโลกรัม ต่อ 1 แปลงย่อย ส่วนทรีตเมนต์ อื่นๆ ที่มีการผสมแร่ในแบบต่างๆ นั้น ใส่ปุ๋ยเพียง 0.35 กิโลกรัม หรือ คิดเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่ใส่ในกลุ่มควบคุม ปุ๋ยหนัก 0.35 กิโลกรัม จะประกอบด้วยปุ๋ยทั้งสองชนิดผสมกันอยู่ชนิดละ 0.175 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 2.7

2) การคำนวณแร่

เตรียมทรีตเมนต์ตามการจัดองค์ประกอบของแร่ ปุ๋ยที่ลดลงจากกลุ่มควบคุม 30 เปอร์เซ็นต์ จะถูกแทนที่ด้วยแร่ชนิดต่างๆ ตามแผนการทดลอง ซึ่งคิดเป็นน้ำหนักในส่วนของแร่ที่จะใส่แทนที่นั้น คือ 150 กรัม (0.15 กิโลกรัม) โดยน้ำหนักส่วนนี้จะถูกหารด้วยจำนวนชนิดของแร่ที่อยู่ในการจัดองค์ประกอบที่ทำการทดลอง ดังแสดงน้ำหนักของแร่ ในแต่ละ ทรีตเมนต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.7



ภาพที่ 2.4 ผังแปลงปลูกคะน้า

ตารางที่ 2.7 ชุดทดลองตามการจัดแบบ 2^4 Factorial และส่วนผสมของแต่ละทรีตเมนต์

ทรีตเมนต์	ชื่อชุดทดลอง	ปุ๋ย	แร่ (กรัม)			
		(กิโลกรัม)	A	B	C	D
T1	15-15-15 + 46-0-0	0.5	-	-	-	-
T2	เบนโทไนท์ (A)	0.35	150	-	-	-
T3	ไดอะทอไมท์ (B)	0.35	-	150	-	-
T4	A + B	0.35	75	75	-	-
T5	พัมมิช (C)	0.35	-	-	150	-
T6	A + C	0.35	75	-	75	-
T7	B + C	0.35	-	75	75	-
T8	A + B + C	0.35	50	50	50	-
T9	เบนโทไนท์โมดิไฟด์ (D)	0.35	-	-	-	150
T10	A + D	0.35	75	-	-	75
T11	B + D	0.35	-	75	-	75
T12	A + B + D	0.35	50	50	-	50
T13	C + D	0.35	-	-	75	75
T14	A + C + D	0.35	50	-	50	50
T15	B + C + D	0.35	-	50	50	50
T16	A + B + C + D	0.35	37.5	37.5	37.5	37.5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3) การปลูก และดูแลรักษา

เตรียมแปลงปลูกโดยการไถพรวนและตากดินไว้ 1 เดือน จากนั้นใส่ปุ๋ยคอก ย่อยดิน และคลุมฟางบางๆ หว่านเมล็ดคะน้า อัตรา 3 กิโลกรัม ต่อ ไร่ ในวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2547 เมล็ดเริ่มงอก หลังหว่าน 4 วัน เมื่อคะน้าอายุ ได้ 17 วัน ทำการปักหลักแบ่งเป็นแปลงย่อยเมื่อ คะน้าอายุ 21 วัน เริ่มทดลองโดยใส่ปุ๋ยครั้งแรกตามทรีตเมนต์ ที่วางแผนไว้ โดยการหว่านให้กระจายทั่วแปลง ก่อนหว่านคลุกเคล้าแร่ให้เข้ากับปุ๋ย โดยการเติมน้ำเข้าไปเล็กน้อยเพื่อให้แร่จับกับปุ๋ยได้ดีขึ้น เมื่อคะน้าอายุ 25 วัน จึงทำการถอนแยกโดยไว้ระยะห่างระหว่างต้นประมาณ 15 เซนติเมตร x 15 เซนติเมตร และกำจัดวัชพืชไปพร้อมกัน เมื่อคะน้าอายุได้ 31 วัน จึงใส่ปุ๋ยครั้งที่สอง โดยการปฏิบัติเหมือนกับการใส่ปุ๋ยครั้งแรก ใส่ปุ๋ยครั้งที่สาม เมื่อคะน้าอายุได้ 45 วัน เก็บเกี่ยวเมื่อคะน้าอายุได้ 52 วัน ฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชตามการระบาด ให้น้ำทุกวัน วันละ 2 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 การปฏิบัติงานในแปลงปลูกคะน้า

อายุพืช	วันที่	การปฏิบัติงาน
0	12 ก.พ. 2547	หว่านเมล็ด
4	15 ก.พ. 2547	เมล็ดเริ่มงอก
12	24 ก.พ. 2547	พ่นสารป้องกันศัตรูพืช
17	29 ก.พ. 2547	แบ่งแปลงย่อยของแต่ละซ้ำ
21	4 มี.ค. 2547	ใส่ปุ๋ยตามแผนการทดลองครั้งที่ 1
25	8 มี.ค. 2547	ถอนแยกต้น และกำจัดวัชพืช
31	14 มี.ค. 2547	ใส่ปุ๋ยตามแผนการทดลองครั้งที่ 2
45	28 มี.ค. 2547	ใส่ปุ๋ยตามแผนการทดลองครั้งที่ 3
52	5 เม.ย. 2547	เก็บผลผลิตคะน้า
54	6 เม.ย. 2547	เก็บตัวอย่างดินหลังปลูก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4) การเก็บตัวอย่างและบันทึกผลการทดลอง

สุ่มเก็บตัวอย่างทุก ทรีตเมนต์ โดยสุ่มเก็บ 10 ต้น ต่อ ทรีตเมนต์ ต่อ ซ้ำ เพื่อชั่งน้ำหนักสด ทั้งสามซ้ำ จากนั้นแบ่งคะน้าจำนวน 5 ต้นไปอบเพื่อหาน้ำหนักแห้ง จากนั้นนำมาแปลงค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

ผลผลิตต่อแปลงย่อยของแต่ละ ทรีตเมนต์

1 แปลงย่อยมีพื้นที่ เท่ากับ 9 ตารางเมตร (กว้าง 1.5 เมตร x ยาว 6 เมตร) มีจำนวนต้นเฉลี่ย 410 ต้น/แปลงย่อย (ได้จากค่าเฉลี่ยต้นตอของแต่ละแปลงย่อยหลังการตัดขาย และจากการคำนวณโดยใช้ระยะปลูกประมาณ 15 เซนติเมตร x 15 เซนติเมตร) เมื่อ เอาจำนวนต้นเฉลี่ยต่อแปลงย่อย คูณกับ น้ำหนักต่อต้นของแต่ละแปลงจะค่าของผลผลิตต่อแปลงย่อย เช่น ทรีตเมนต์ ที่เป็น กลุ่มควบคุม ของซ้ำที่ 1 ได้น้ำหนักต่อต้น 170 กรัม (0.17 กิโลกรัม) นำมาคูณด้วย 410 จะได้เท่ากับ 69,700 กรัม หรือ 69.7 กิโลกรัม เป็นต้น

ผลผลิตต่อไร่

1 แปลงย่อยมีพื้นที่ 9 ตารางเมตร มีจำนวนต้น 410 ต้น ถ้าพื้นที่เท่ากับ 1600 ตารางเมตร (1 ไร่) จะมีจำนวนต้นเท่ากับ (1,600 ตารางเมตร x 410 ต้น) / 9 ตารางเมตร จะได้ 72,888 ต้น หรือ แต่การคำนวณผลผลิตต่อไร่นี้จะใช้ค่าประมาณที่ 72,000 ต้นต่อไร่ เมื่อนำมาคูณด้วย น้ำหนักต่อต้น จะได้เท่ากับผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ เช่น ทรีตเมนต์ ที่เป็นกลุ่มควบคุม ของซ้ำที่ 1 ได้น้ำหนักต่อต้น 0.17 กิโลกรัม นำมาคูณด้วย 72,000 จะได้เท่ากับ 12,240 กิโลกรัม หรือ หรือ 12.24 ตัน/ไร่ เป็นต้น

2.3.2 ผลการทดลอง

หลังถอนแยกครั้งแรก 1 สัปดาห์ ต้นจะเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอกันดี จนถึงในวันเก็บเกี่ยว พบว่าคะน้ามีลำต้นที่อวบใหญ่และค่อนข้างสม่ำเสมอนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์วาเรียนซ์ ด้วยวิธีแฟกทอเรียลและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบกลุ่ม (Duncan's new multiple rang test: DMRT) ได้ผลดังตารางที่ 2.9

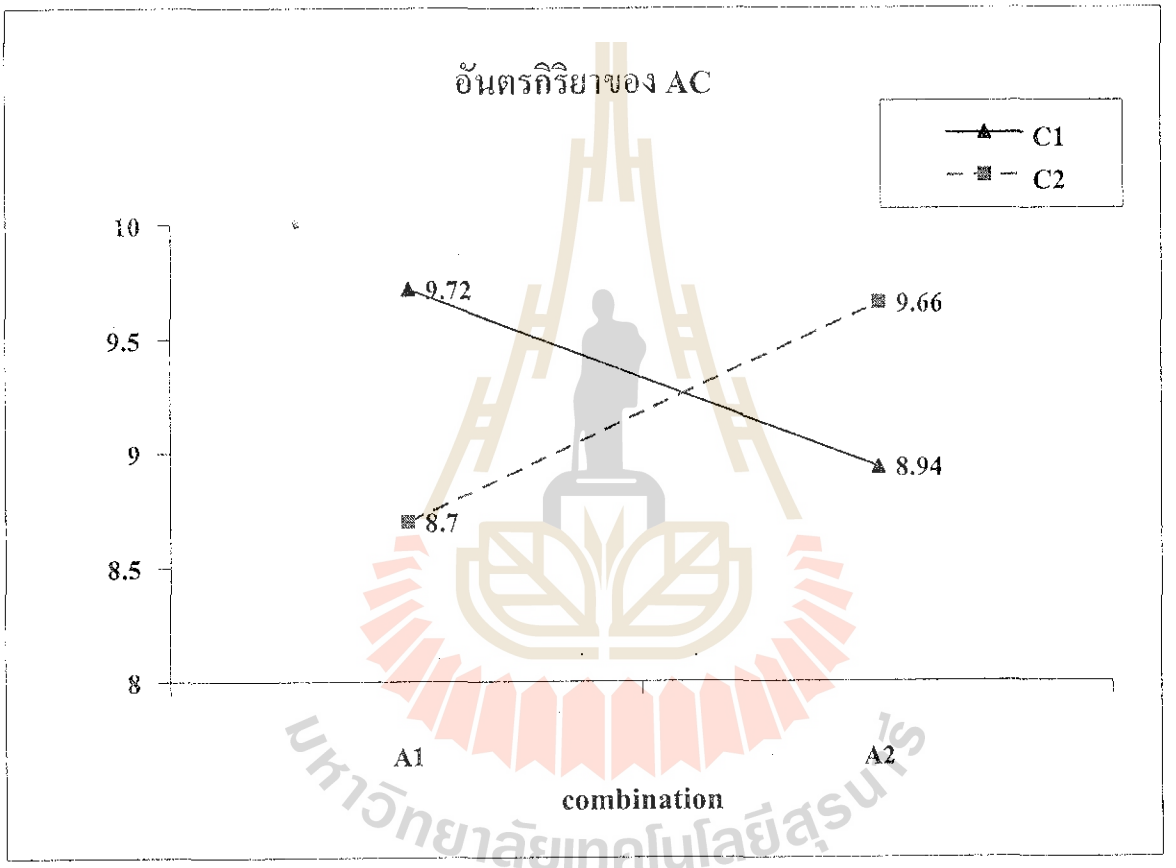
ตารางที่ 2.9 ผลผลิตจากแปลงคะน้า และผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ลำดับที่	ทรีตเมนต์	น้ำหนักแห้ง/ ต้น (กรัม)	น้ำหนักแห้ง/ไร่ (ตัน)	น้ำหนักสด/ต้น (กิโลกรัม)	ผลผลิตสด/ไร่ (ตัน)
1	15-15-15 + 46-0-0	14.15 a [1/]	0.140 ab [1/]	0.14 a [1/]	10.08 bc [1/]
2	เบนโทไนท์ (A)	11.48 a	0.117 ab	0.117 a	8.40 abc
3	ไดอะทอไมท์ (B)	13.60 a	0.140 ab	0.140 a	10.08 bc
4	A + B	12.31 a	0.137 ab	0.137 a	9.84 abc
5	พัมมิซ (C)	11.16 a	0.113 ab	0.113 a	8.16 ab
6	A + C	14.20 a	0.150 b	0.150 a	10.80 c
7	B + C	11.66 a	0.103 ab	0.103 a	7.44 a
8	A + B + C	14.23 a	0.140 b	0.140 a	10.08 bc
9	โมดิไฟด์ (D)	11.79 a	0.117 ab	0.117 a	8.40 abc
10	A + D	10.64 a	0.123 a	0.123 a	8.88 abc
11	B + D	13.30 a	0.143 ab	0.143 a	10.32 bc
12	A + B + D	12.30 a	0.120 ab	0.120 a	8.64 abc
13	C + D	13.90 a	0.137 ab	0.137 a	9.84 abc
14	A + C + D	12.52 a	0.117 ab	0.117 a	8.40 abc
15	B + C + D	13.22 a	0.130 ab	0.130 a	9.36 abc
16	A + B + C + D	12.75 a	0.130 ab	52.00 a	9.36 abc

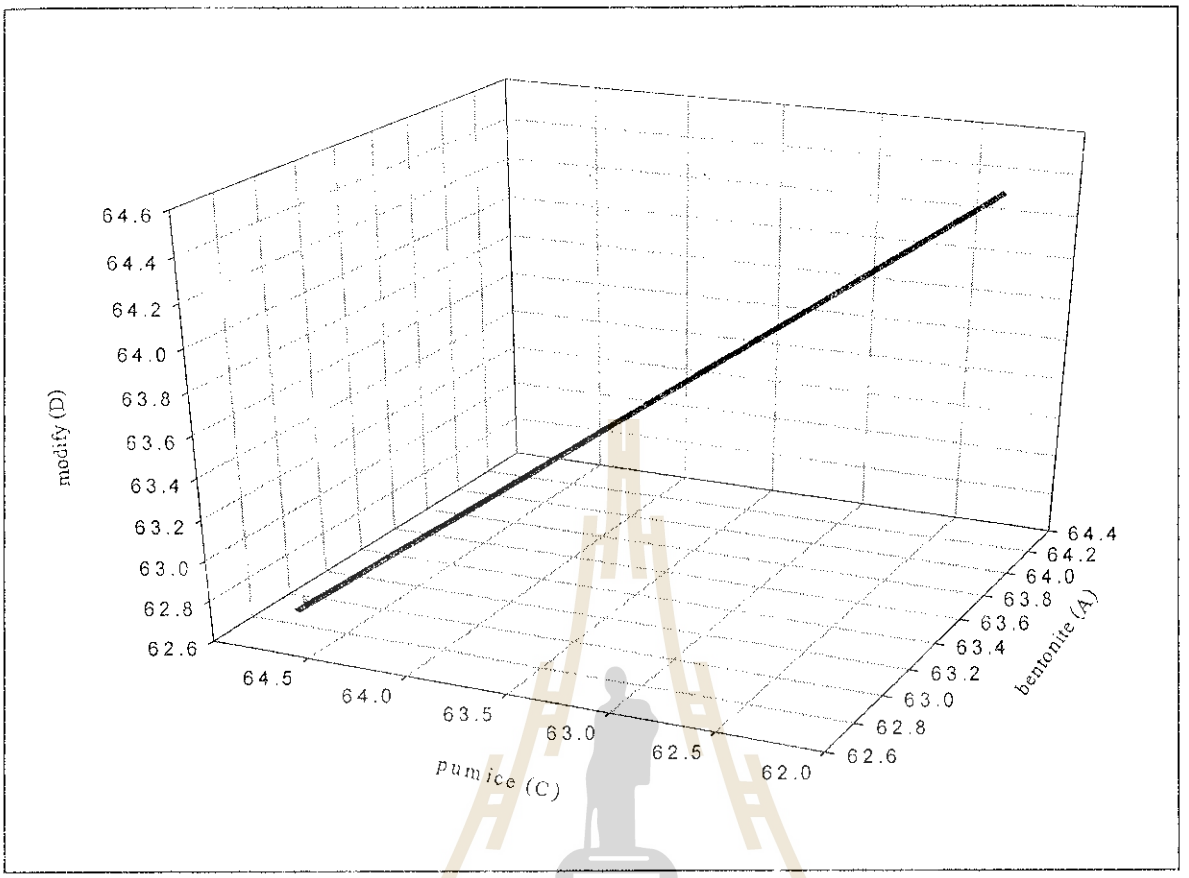
[1/] ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ค่าที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากการวิเคราะห์วาเรียนซ์ ของผลผลิตต่อไร่ของคะน้า พบว่า ปัจจัยหลักทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ แร่เบนโทไนท์ (A) ไดอะทอไมท์ (B) พัมมิซ (C) และ เบนโทไนท์โมดิไฟด์ (D) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าทรีตเมนต์ต่างๆ ที่ทดลองนั้นให้ผลผลิตต่อไร่ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนอันตรกิริยา (interaction) ของแร่ทั้งสี่ พบว่าส่วนใหญ่ ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อกัน ยกเว้นกรณีของ 1) การใช้ เบนโทไนท์ ร่วมกับ พัมมิซ (AC) ดังแสดงในภาพที่ 2.5 และ) การใช้ เบนโทไนท์ ร่วมกับ พัมมิซ และ โมดิไฟด์ (ACD) เท่านั้นที่มีปฏิกิริยากันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.5 อันตรกิริยาของการใช้แร่ 1) เบนโทไนท์(A); A1 = ไม่ใส่ เบนโทไนท์ และ A2 = ใส่ เบนโทไนท์
2) พัมมิซ (C); C1 = ใส่พัมมิซ, C2 = ใส่ พัมมิซ



ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาของการใช้แร่ (1) เบนโทไนท์(A)
(2) พัมมิซ (C)
(3) เบนโทไนท์โมดิไฟด์ (D) ร่วมกัน

การวิเคราะห์วาเรียนซ์ของน้ำหนักแห้งต่อไร่ และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยนั้น ให้ผลการวิเคราะห์ที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ผลผลิตต่อไร่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

24 การทดลองในกระหล่ำดอก

2.4.1 วิธีทดลอง

สำรวจพื้นที่ และวางแผนการทดลอง การจัดปัญหาและวางแผนการทดลองเหมือนการทดลองในคะน้า แปลงย่อยแต่ละทรีตเมนต์ มีขนาดความกว้าง 3 เมตร และความยาว 5 เมตร จำนวน 32 แปลงย่อยต่อพื้นที่ทั้งหมดที่ใช้ทดลอง เว้นทางเดินระหว่างแปลงแต่ละแปลงย่อยเท่ากับ 1 เมตร สุ่มวางทรีตเมนต์ตามแผนผังแปลงทดลอง ดังแสดงในภาพ 2.7

1) การเตรียมปัญหาทดลอง (ทรีตเมนต์)

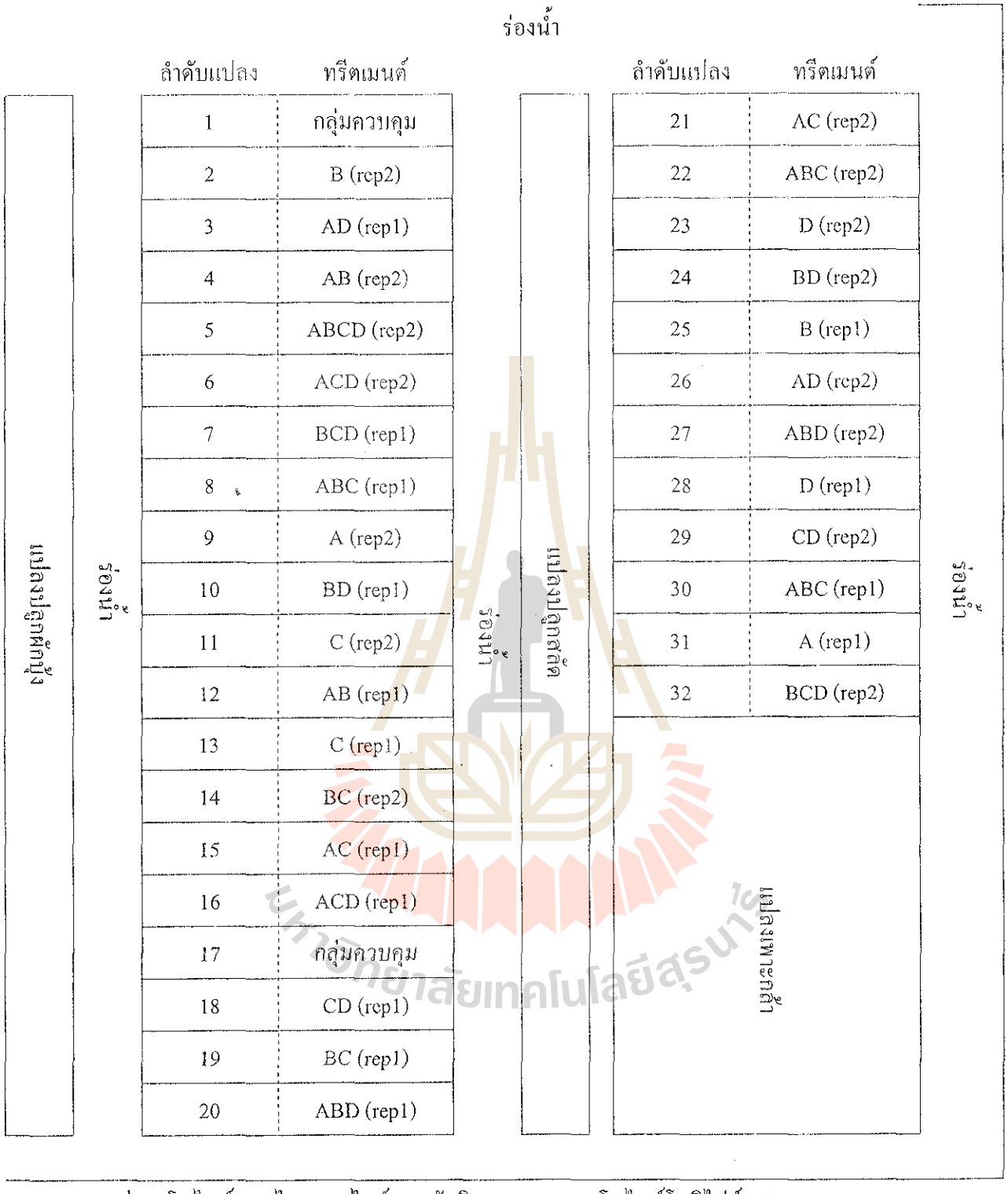
1. **การคำนวณปุ๋ย** ใช้ ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ตราเรือใบ ซึ่งเกษตรกรที่ปลูกกะหล่ำดอกจะใส่ปุ๋ยในอัตรา 16 กรัม ต่อต้น หรือประมาณ 170 กิโลกรัมต่อไร่ ดังนั้น 1 แปลงย่อยที่ทำการทดลองมีพื้นที่ 15 ตารางเมตร มีจำนวนต้นเฉลี่ย 100 ต้น จะต้องใส่ปุ๋ย 1.6 กิโลกรัมต่อพื้นที่ จึงกำหนดให้ทรีตเมนต์ กลุ่มควบคุม จะต้องใช้ปุ๋ย 1.6 กิโลกรัม ส่วน ทรีตเมนต์ อื่นๆ ที่มีการผสมแร่ในแบบต่างๆนั้น จะลดปริมาณการใส่ปุ๋ยลง 30 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 1.12 กิโลกรัมต่อทรีตเมนต์ หรือ 119.5 กิโลกรัมต่อไร่

2. **การคำนวณแร่** การเตรียมแร่แต่ละทรีตเมนต์เป็นไปตามการจัดองค์ประกอบของแฟกเตอร์ทั้ง 4 ที่จัดแบบแฟกตอเรียลโดยน้ำหนักที่ใส่แร่นั้นเท่ากับน้ำหนักปุ๋ยที่ลดลงจาก กลุ่มควบคุม 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเท่ากับ 480 กรัม น้ำหนักส่วนนี้จะถูกหารด้วย จำนวนชนิดของแร่ที่อยู่ในแต่ละทรีตเมนต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.10

3. **การเตรียมการจัดองค์ประกอบของแร่สำหรับรองพื้น** ก่อนใส่ปุ๋ยในแต่ละทรีตเมนต์ได้ทำการรองพื้นด้วยแร่ชนิดต่างๆที่มีการจัดองค์ประกอบเดียวกับทรีตเมนต์โดยการโรยรอบบริเวณทรงพุ่มของแต่ละต้น ปริมาตรที่ใส่ในแต่ละทรีตเมนต์ คำนวนจากน้ำหนักของแร่นั้นๆในการโรยให้รอบทรงพุ่มของกะหล่ำ ดังแสดงใน ตารางที่ 2 ซึ่งได้จากการคำนวณดังนี้

แร่เบนโทไนท์โมดิไฟด์ พัมมิซ และไดอะทอไมท์ มีน้ำหนักต่อหน่วยที่ใกล้เคียงกันดังนั้นปริมาณที่โรยรอบทรงพุ่มเท่ากับ 59.81 กรัม ต่อต้น หรือ ประมาณ 6 กิโลกรัมต่อแปลง หรือ 0.64 ตัน/ไร่

ส่วนแร่ เบนโทไนท์ ซึ่งเบากว่านั้นปริมาณที่โรยรอบทรงพุ่มเท่ากับ 26.85 กรัม ต่อต้น หรือ ประมาณ 3 กิโลกรัมต่อแปลง หรือ 0.32 ตัน/ไร่



หมายเหตุ แร่เบนโทไนท์ (A) ไดอะทอไมท์ (B) พัมมิซ (C) และ เบนโทไนท์โมดิไฟด์ (D)

ภาพที่ 2.7 แผนผังแปลงทดลองในกะหล่ำดอก

ตารางที่ 2.10 ชุดทดลองตามการจัดแบบ 2^4 แฟกทอเรียล และส่วนผสมของแต่ละทรีตเมนต์

ชื่อชุดทดลอง	ปุ๋ย (กิโลกรัม)	แร่ (กรัม)			
		A	B	C	D
กลุ่มควบคุม	1.6	-	-	-	-
เบนโทไนท์ (A)	1.12	480	-	-	-
ไดอะทอไมท์ (B)	1.12	-	480	-	-
AB	1.12	240	240	-	-
พัมมิซ (C)	1.12	-	-	480	-
AC	1.12	240	-	240	-
BC	1.12	-	240	240	-
ABC	1.12	160	160	160	-
โมดิไฟด์ (D)	1.12	-	-	-	525
AD	1.12	240	-	-	240
BD	1.12	-	240	-	240
ABD	1.12	160	160	-	160
CD	1.12	-	-	240	240
ACD	1.12	160	-	160	160
BCD	1.12	-	160	160	160
ABCD	1.12	120	120	120	120

*หมายเหตุ กลุ่มควบคุม คือ ใส่ปุ๋ย 15-15-15 + 46-0-0 อัตราส่วน 1:1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2) การปลูก และดูแลรักษา

1. การดูแลแปลงเพาะกล้า หว่านเมล็ดให้ทั่วทั้งแปลงเพาะขนาด 100 ตารางเมตร จากนั้นคลุมแปลงด้วยฟางข้าวมาคลุมดินเพื่อพรางแสงและรักษาความชื้นของดิน ให้น้ำทุกวันวันละ 2 ครั้ง และรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.11

2. แปลงทดลอง โดยการไถพรวนและตากดินไว้ 1 เดือน ก่อนย้ายปลูก 1 อาทิตย์ ใส่ปุ๋ยคอก ย่อยดิน และคลุมฟางหนาๆ เมื่อต้นกล้าอายุ 31 วัน ทำการย้ายกล้า โดยใช้ระยะปลูกประมาณ 30 x 30 เซนติเมตร การปฏิบัติดูแลแปลงปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว ดังแสดงในตารางที่ 2.12 เมื่อต้นอายุ 18 วันหลังปลูก ใส่ปุ๋ยตามทรีตเมนต์ครั้งที่ 1 โดยการรองพื้นด้วยแร่ชนิดต่างๆ ตรงตามทรีตเมนต์ที่ใส่ให้ในแปลงนั้นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 เมื่อต้นอายุ 34 วัน ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 โดยไม่มีการใส่แร่รองพื้น ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3 เมื่อต้น อายุ 50 วัน รองพื้นด้วยแร่ต่างๆ เช่นเดียวกับทรีตเมนต์ ยกเว้น ทรีตเมนต์ที่ต้องรองพื้นด้วยโมดิไฟด์ อย่างเดียวนั้นต้องใส่ แร่เบนโทไนท์ แทน ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 4 เมื่อต้นอายุ 67 วัน และเก็บเกี่ยวผลผลิต ครั้งที่ 1 เมื่อต้นอายุ 57 วัน ครั้งที่ 2 เมื่ออายุ 61 วัน ครั้งที่ 3 เมื่ออายุ 69 วัน และ ครั้งที่ 4 เมื่อต้นอายุ 75 วัน

3. เก็บเกี่ยวผลผลิต เนื่องจากกระหล่ำดอก ออกดอกไม่พร้อมกัน จึงต้องทยอยเก็บ เก็บผลผลิตครั้งที่ 1 เมื่อต้นอายุ 57 วัน ครั้งที่ 2 เมื่ออายุ 61 วัน ครั้งที่ 3 เมื่ออายุ 69 วัน และ ครั้งที่ 4 เมื่อต้นอายุ 75 วัน โดยเก็บดอกที่บานพร้อมเก็บเกี่ยว บันทึกน้ำหนัก และจำนวนดอก ของแต่ละทรีตเมนต์

4. นำข้อมูลน้ำหนักดอก และ จำนวนดอก มาคำนวณหาน้ำหนักเฉลี่ยของดอก และคำนวณผลผลิตต่อไร่ และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ 2.11 ตารางการปฏิบัติและดูแลแปลงเพาะกล้า

อายุ	วันที่	ปฏิบัติดูแล	หมายเหตุ
0	18/2/2004	หว่านเมล็ดเพาะกล้า	
7	25/2/2004	เริ่มงอก	
15	4/3/2004	ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 (บำรุงกล้า)	
22	11/3/2004	พ่นสารป้องกันแมลง-ด้วงหมัดผักแถบลายจุด	
27	16/3/2004	พ่นสารกำจัดด้วงหมัดกระโดดแถบลายจุด	โปรฟีน็อค ไบโฟลาน
30	19/3/2004	พ่นสารป้องกันโรคเน่าคอดิน	เทอร์ราคลอ X

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.12 ตารางการปฏิบัติและดูแลแปลงทดลอง

อายุ	วันที่	ปฏิบัติดูแล	หมายเหตุ
0	26/3/2004	ย้ายปลูกเมื่อกล้าอายุ 36 วัน	ความเสียหายจาก
1	27/3/2004	ย้ายปลูกเมื่อกล้าอายุ 36 วัน	อุณหภูมิกลางวันสูง
10	5/4/2004	พบด้วงหมัดผักแถบลายจุด	
18	13/4/2004	ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1+ รองพื้นด้วยแร่ทุกชนิด	
26	21/4/2004	พบหนอนใยผัก หนอนกระทู้ผัก	แรมเพจ+สารจับใบ
34	29/4/2004	ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 (ไม่รองพื้น)	
45	10/5/2004	พบโรคเน่าและ โรคใบกรอบ	พ่นสารเคมีของเกษตรกร
49	14/5/2004	พบโรคเน่าและ และโรคใบกรอบ	สารแคลเซียม-โบรอน
50	15/5/2004	ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3 + รองพื้น ใส่ เบนโทไนท์ แทน โมดิไฟด์ เดี่ยวๆ	ยาฆ่าเชื้อรา แอคนาวส์
53	18/5/2004	พบหนอนกระทู้ผัก โดยการเข้าทำลายดอก	
55	20/5/2004	พบโรคเน่าและ	ปุ๋ยทางใบสูตร 20-20-20+ ยาฆ่าเชื้อแบคทีเรีย
57	22/5/2004	เก็บเกี่ยว 1	
61	26/5/2004	เก็บเกี่ยว 2	
62	27/5/2004	พบหนอนเจาะดอก	แรมเพจ
66	31/5/2004	เตรียมทรีตเมนต์ครั้งที่ 4	เคมีร่า 15-15-15
67	1/6/2004	ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 4 ไม่รองพื้น	
69	3/6/2004	เก็บเกี่ยว 3	
75	9/6/2004	เก็บเกี่ยว 4	
77	11/6/2004	เก็บตัวอย่างดินหลังทดลอง	

หมายเหตุ พ่นสารเคมีกำจัดแมลงทุกอาทิตย์ และพ่นสารเคมีเพิ่มขึ้นเมื่อเกิดการระบาดของโรค หรือแมลง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.4.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2.13 และจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของข้อมูล ต่าง ๆ ของกะหล่ำดอกที่ทดลอง ได้ผลดังนี้

1) การทดสอบอันตรกิริยา พบว่า ทุกอิทธิพลร่วมของ 2 3 และ 4 แฟกเตอร์ ไม่ทำให้ผลของ น้ำหนักดอก จำนวนดอก น้ำหนักเฉลี่ยต่อดอก และ ผลผลิตต่อไร่ แตกต่างกันทางสถิติ แสดงว่า แร่แต่ละชนิด ซึ่งได้แก่ 1) แร่โมดิไฟด์ 2) แร่ พัมมิซ 3) แร่ ไดอะทอไมท์ และ 4) แร่ เบนโทไนท์ ไม่มีอันตรกิริยาต่อกัน

2) การทดสอบอิทธิพลหลัก (main effect) ของทั้ง 4 ปัจจัย พบว่า แร่โมดิไฟด์ ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า การใช้ หรือ ไม่ใช้ แร่ชนิดนี้ ไม่ทำให้ น้ำหนักของดอก จำนวนดอก น้ำหนักเฉลี่ยต่อดอก และ ผลผลิตต่อไร่ ของแต่ละทรีตเมนต์ แตกต่างกันทางสถิติ และ การทดสอบอิทธิพลหลักของแร่อื่นๆ ได้แก่ แร่ พัมมิซ แร่ ไดอะทอไมท์ และ แร่ เบนโทไนท์ ให้ผลการทดสอบเช่นเดียวกันกับ โมดิไฟด์

3) จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple rang test (DMRT) ของน้ำหนักดอกต่อทรีตเมนต์ จำนวนดอก น้ำหนักเฉลี่ยต่อดอก และผลผลิตต่อไร่ ของทั้ง 16 ทรีตเมนต์ พบว่า ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.13 ค่าเฉลี่ยของผลผลิตจากการทดลองในกะหล่ำดอก

ชื่อชุดทดลอง	น้ำหนักดอก/แปลง (กิโลกรัม)	จำนวนดอก (ดอก)	น้ำหนักเฉลี่ย/ดอก (กรัม)	ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)
กลุ่มควบคุม	9.0 ± 0.4 a[1/]	42 ± 7.8 a[1/]	220 ± 36.1 a[1/]	960 ± 45.3 a[1/]
เบนโทไนท์ (A)	8.6 ± 0.7 a	37 ± 0.7 a	225 ± 14.1 a	917 ± 75.7 a
ไดอะทอไมท์ (B)	8.3 ± 1.6 a	42 ± 12.0 a	202 ± 11.3 a	880 ± 173.9 a
AB	10.8 ± 1.1 a	49 ± 8.5 a	215 ± 19.1 a	1,152 ± 120.2 a
พัมมิซ (C)	10.9 ± 0.5 a	48 ± 9.2 a	233 ± 43.1 a	1,157 ± 53.0 a
AC	9.1 ± 4.4 a	41 ± 21.2 a	216 ± 0.0 a	971 ± 467.4 a
BC	10.3 ± 1.5 a	46 ± 5.0 a	219 ± 7.8 a	1,093 ± 158.4 a
ABC	8.2 ± 0.6 a	35 ± 2.1 a	239 ± 4.2 a	869 ± 67.9 a
โมดิไฟด์ (D)	9.6 ± 0.6 a	42 ± 0.7 a	246 ± 0.7 a	1,019 ± 67.9 a
AD	8.9 ± 4.6 a	42 ± 22.0 a	219 ± 2.8 a	944 ± 490.7 a
BD	11.0 ± 3.5 a	42 ± 17.0 a	268 ± 21.2 a	1,173 ± 376.9 a
ABD	10.1 ± 1.8 a	47 ± 6.4 a	214 ± 7.8 a	1,077 ± 195.9 a
CD	10.9 ± 3.0 a	50 ± 8.5 a	213 ± 30.4 a	1,157 ± 324.6 a
ACD	11.4 ± 0.7 a	49 ± 0.7 a	230 ± 24.8 a	1,216 ± 75.0 a
BCD	9.1 ± 2.2 a	40 ± 14.1 a	222 ± 17.9 a	965 ± 234.1 a
ABCD	9.5 ± 1.9 a	47 ± 0.7 a	207 ± 36.8 a	1,008 ± 203.7 a

[1/] ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ค่าที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 การวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพของเนื้อดินและแร่

เบนโทไนท์และโมดิไฟด์ มีคุณสมบัติเป็นด่าง พัมมิซ เป็นกลาง และ ไดอะทอไมท์ เป็นกรด เมื่อใส่ลงในแปลงทดลองแล้วพบว่าดินหลังการทดลองมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าความเค็ม และค่าการแลกเปลี่ยนประจุ ไม่แตกต่างจากดินหลังการทดลอง เนื่องจากปริมาณแร่ที่ใส่ในแปลงทดลองมีปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ใส่แร่แล้วค่าเหล่านี้จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการทดลอง

การวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักก่อนและหลังการทดลองพบว่า หลังการทดลองปริมาณของไนโตรเจนลดลงมาก เนื่องจากธาตุนี้มีส่วนช่วยในการสร้างการเจริญเติบโตในส่วนเหนือดินโดยเฉพาะพืชผักที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วย่อมต้องการใช้ไนโตเจนในปริมาณสูง เพื่อสร้างโปรตีน กรดอะมิโน ฮอร์โมน กรดนิคลิอิก เป็นต้น (Hewitt, 1984) ในขณะที่มีปริมาณของฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณปุ๋ยที่ใส่เข้าไปนั้นพืชนำไปใช้ในปริมาณน้อยเพราะพืชมีการใช้ธาตุดังกล่าวในการเจริญเติบโตของรากเป็นหลัก ในขณะที่พืชผักมีปริมาณการใช้ธาตุชนิดนี้ในปริมาณน้อยเพียงเพื่อสารสร้าง กรดนิวคลิอิก ฟอสโฟลิพิด เอทีพี (ATP) และ โคเอนไซม์ ซึ่งในการทดลองได้ใส่ปุ๋ย สูตร 15-15-15 จึงทำให้ปริมาณของฟอสฟอรัสมากกว่าความต้องการใช้ประโยชน์ จึงเหลือตกค้างในดินมาก โพแทสเซียมจะพบในปริมาณที่สูงในดินเหนียวประกอบกับพืชผักมีอัตราการใช้ที่น้อยเพื่อการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์และการขนส่งไอออนและเอนไซม์ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) และปริมาณอินทรีย์วัตถุมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเพียงเล็กน้อย

ในแร่เหล่านี้มีธาตุอาหารพืชหลายชนิดอยู่ค่อนข้างสูง เช่น ธาตุอาหารหลัก เช่น ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ที่เป็นประโยชน์ ธาตุอาหารรอง เช่น กำมะถัน (S) แมกนีเซียม (MgO) แคลเซียม (Ca) จุลธาตุอาหาร เช่น เหล็ก (Fe) นอกจากนี้ยังมีธาตุอื่นๆ ที่ยังไม่ทราบผลกระทบต่อพืชด้วย เช่น Ti และ Rb เป็นต้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.2 การทดลองในกระถาง

การใช้แร่ทั้งสามชนิดแบบเดี่ยวๆ และผสมกันมีผลในการเจริญเติบโต และน้ำหนักของคะน้าที่มากกว่าการปลูกโดยไม่ใส่แร่ โดยเฉลี่ยประมาณ 182.89 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นถึงความสามารถของแร่ในการสนับสนุนการใช้ปุ๋ยให้เกิดประโยชน์ต่อพืชมากขึ้นได้อย่างชัดเจน ซึ่งผลที่ได้สามารถทำการทดลองเพื่อหาวิธีลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ ซึ่งจะมีผลดีต่อการลดต้นทุนการผลิตจากราคาปุ๋ยเคมีที่มีราคาสูง และลดการเสื่อมของดินจากการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่องลงได้

อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองยังพบว่า การใส่แร่เบนโทไนท์ มีแนวโน้มของค่าน้ำหนักเฉลี่ยสูงกว่าการใส่แร่ชนิดอื่นๆ และการใส่แร่พัมมิซให้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างชัดเจน แนวโน้มของค่าเฉลี่ยดังกล่าวสอดคล้องกับสมบัติทางกายภาพของแร่ที่ใช้ทดลอง ที่พบว่าแร่เบนโทไนท์เป็นแร่ที่มีคุณสมบัติแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง เนื่องจากโครงสร้างทางโมเลกุลที่เป็นชั้นๆ ซึ่งประจุบวกจากภายนอกสามารถเกาะทั้งบริเวณรอบนอก และภายในระหว่างชั้น ประจุบวกเหล่านี้สามารถเปลี่ยนตำแหน่งแทนที่กันได้ นอกจากนี้เบนโทไนท์ยังมีพื้นที่ผิว (surface area) สูงถึง 37.15 ตารางเมตรต่อกรัม เมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีแล้วเบนโทไนท์อาจจะช่วยควบคุมการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่เป็นประโยชน์ต่อพืชกับสารละลายดิน (soil colloids) ที่อยู่รอบๆ บริเวณรากพืช ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับการใส่ปุ๋ยละลายช้า (slow released fertilizer) จึงส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่สูงกว่าการใส่แร่ชนิดอื่นๆ

ส่วนแร่ไดอะทอไมท์ สามารถกักเก็บประจุบวกไว้ภายในโครงสร้างได้ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสูงถึง 35.97 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับเบนโทไนท์ และโครงสร้างทางโมเลกุลที่มีความพรุนสูงความพรุนสูง จึงทำให้ดินสามารถดูดซับน้ำและการถ่ายเทอากาศได้ดี จึงส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยเฉพาะการเจริญของราก ผลการทดลองที่ได้จึงใกล้เคียงกับเบนโทไนท์ อย่างไรก็ตามการที่ไดอะทอไมท์ไม่สามารถควบคุมการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้อาจทำให้พืชแสดงอาการขาดธาตุอาหารได้เร็วกว่าการใส่เบนโทไนท์ กรณีดังกล่าวอาจเห็นผลที่ชัดเจนขึ้นถ้าทำการทดลองในพืชที่มีอายุการเก็บเกี่ยวที่นานกว่าคะน้า เช่น ทดลองในข้าวโพด เป็นต้น

พัมมิซ เป็นแร่ที่ใช้ในทางการเกษตรเพื่อปรับปรุงโครงสร้างดิน เนื่องจากมีอนุภาคขนาดเล็ก และมีความพรุน เมื่อใส่ในดินทำให้เนื้อดินมีสภาพดีเหมาะแก่การเพาะปลูก พัมมิซในดินจะมีความคงทนไม่สลายตัวไปเหมือนกับสารพอลิเมอร์ ที่ได้จากซากพืชหรือซากอินทรีย์วัตถุ เช่น เซลลูโลส เป็นต้น ดังนั้นอนุภาคปุ๋ยและสารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช จะเคลือบอยู่ที่ผิวของอนุภาคของแร่ชนิดนี้ได้ในระยะเวลาหนึ่งและหลุดออกไปอยู่ในสารละลายดินเพื่อให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ สมบัติดังกล่าวทำให้การใส่แร่พัมมิซอย่างเดียวได้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักต่ำกว่าทุกทรีตเมนต์และแสดงอาการขาดธาตุอาหารเร็วกว่าการใส่แร่ชนิดอื่นๆ

3.3 การใช้แร่ในแปลงปลูกคะน้า

การที่ทรีตเมนต์ต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเกิดจากดินในแปลงทดลองมีความเหมาะสมต่อการเพาะปลูกอยู่แล้ว การใส่แร่ชนิดต่างๆ เพื่อปรับปรุงบำรุงดินจึงเห็นผลของความแตกต่างที่ไม่ชัดเจน นอกจากนี้สภาพแปลงปลูกขนาดใหญ่ตามรูปแบบการผลิตผักของเกษตรกร ที่ควบคุมปัจจัยคงที่ของการทดลองให้คงที่และสม่ำเสมอกันนั้นได้ยาก เช่น ความสมบูรณ์ และความสม่ำเสมอของดิน ความงอก และแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ ปริมาณการให้น้ำ การระบาดของศัตรูพืช เป็นต้น ที่ส่งผลต่อการทดลอง อย่างไรก็ตามจากการทดลองสามารถเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่เกิดจากการใช้แร่ได้ 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 คือ ผลผลิตต่อไร่สูงกว่าการใช้ปุ๋ยอย่างเดียว มีจำนวน 1 ทรีตเมนต์ ได้แก่

1) การคลุกปุ๋ยด้วยเบนโทไนท์ ผสมกับ พัมมิซ

กลุ่มที่ 2 ผลผลิตต่อไร่เท่ากับกลุ่มควบคุม จำนวน 3 ทรีตเมนต์ ได้แก่ การคลุกปุ๋ยด้วย

1) ไดอะทอไมท์ อย่างเดียว
2) เบนโทไนท์ ผสมกับ ไดอะทอไมท์ และ พัมมิซ
3) ไดอะทอไมท์ ผสมกับ โมดิไฟด์

กลุ่มที่ 3 ให้ผลผลิตต่อไร่น้อยกว่ากลุ่มควบคุม ได้แก่

ทรีตเมนต์อื่นๆ ที่เหลืออีก 12 ทรีตเมนต์

1) *การคลุกปุ๋ยด้วยแร่เบนโทไนท์ผสมกับพัมมิซ* ให้ผลผลิตต่อไร่มากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ และมากกว่าการใส่ปุ๋ยเพียงอย่างเดียว ถึง 0.8 ตันต่อไร่ กรณีนี้สอดคล้องกับสมบัติทางกายภาพของแร่และการเจริญเติบโตของผักคะน้า เนื่องจากคะน้าเป็นพืชที่เจริญเติบโตเร็ว อายุการเก็บเกี่ยวสั้น ดังนั้นผลของการแลกเปลี่ยนประจุบวกจากเบนโทไนท์ และการปลดปุ๋ยที่เคลือบอนุภาคของพัมมิซที่ปลดปล่อยได้เร็วกว่าแร่อื่นๆ ทำให้คะน้าได้รับสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง

2) *การคลุกปุ๋ยด้วยไดอะทอไมท์ผสมกับพัมมิซ* ให้ผลผลิตต่อไร่น้อยกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ และน้อยกว่าการใส่ปุ๋ยเพียงอย่างเดียว ถึง 3.34 ตันต่อไร่ คะน้าอาจได้รับปุ๋ยอย่างไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากพัมมิซที่ปลดปล่อยอนุภาคปุ๋ยได้เร็วและหมดเร็ว ขณะที่ไดอะทอไมท์อาจมีการปลดปล่อยอนุภาคปุ๋ยที่ไม่สม่ำเสมอจนอาจเกิดการขาดช่วงของธาตุอาหารและส่งผลต่อการเจริญเติบโตของคะน้าได้เช่นกัน

3) *มีอันตรปฏิกิริยาระหว่างการใช้เบนโทไนท์ร่วมกับพัมมิซ และ การใช้เบนโทไนท์ร่วมกับพัมมิซ* และโมดิไฟด์

3.4 การใช้แร่ในแปลงกระหล่ำดอก

การที่ผลการทดลองไม่เห็นความแตกต่างทางสถิติเหมือนที่พบในการทดลองกับผักคะน้าแล้ว นอกจากปัจจัยทางด้านชนิดพืชแล้ว อาจมาจากสาเหตุอื่นๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. พื้นที่ทดลองอาจไม่สม่ำเสมอเพียงพอในเรื่องคุณสมบัติของดิน เชื้อโรคในดิน และยังเป็นการทดลองแบบแปลงปลูกเพื่อการค้า ทำให้ควบคุมปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทดลองได้ยาก

2. เกษตรกรใส่ปุ๋ยในอัตราที่สูงในการผลิตประมาณ 170 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อลดอัตราการใช้ปุ๋ยลง 30 เปอร์เซ็นต์ จะเหลือประมาณ 120 กิโลกรัมต่อไร่แล้วยังคงสูงกว่าที่ทางนักวิชาการแนะนำให้ใช้ซึ่งจะอยู่ที่ประมาณ 100 กิโลกรัมต่อไร่ ดังนั้นการให้ผลผลิตของกะหล่ำดอกที่ทดลองอาจให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากได้รับปุ๋ยในปริมาณที่เพียงพอกับศักยภาพของพันธุ์ที่จะให้ผลผลิตได้เต็มที่ การลดอัตราปุ๋ยที่ทดลองลงให้ต่ำกว่าอัตราแนะนำอาจทำให้เห็นผลของการทดลองได้ดีขึ้น

3. การปลูกในช่วงฤดูร้อนแม้จะเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมแล้วแต่ก็เกิดความเสียหายต่อต้นกล้ามากในช่วงการย้ายปลูกใหม่ ทำให้ ต้นกล้าตาย หรือใบและยอดเสียหายต้องใช้ระยะเวลานานกว่าจะตั้งตัวได้ จึงทำให้ต้นพืชเจริญเติบโตไม่สม่ำเสมอกัน จึงควรหลีกเลี่ยงการทดลองในฤดูร้อนเพื่อเป็นการลดผลจากปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทดลองลง

4. การระบาดที่รุนแรงของหนอนเจาะดอกและลำต้น ประกอบกับ โรคเน่าและ และโรคใบกรอบในระยะออกดอก และช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตทำให้ต้นพืชเสียหายประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมด โดยเสียหายมากในช่วงแรกของการระบาดเนื่องจากยังไม่สามารถหาวิธีการหยุดการระบาดได้ จนทำให้ผลผลิตที่บันทึกได้ไม่แสดงออกถึงผลของทรีตเมนต์

5. วิธีการเก็บเกี่ยวอาจยังไม่เหมาะสม เนื่องจากต้องใช้การประเมินจาก สภาพของดอก และขนาดของต้น ผู้เก็บเกี่ยวอาจทำให้ข้อมูลผิดพลาดได้ง่ายในการตัดสินใจเลือกเก็บ และยังมีผลจากการต้องเก็บก่อนที่ดอกจะได้ขนาดที่ต้องการ เนื่องจากต้องการหลีกเลี่ยงความเสียหายโรค แมลง และฝนที่ตก ซึ่งทำให้ดอกเสียหายและเน่าเสียได้ก่อนการเก็บเกี่ยวครั้งต่อไป จึงควรหาวิธีการเก็บเกี่ยว และประเมินผลแบบใหม่ที่รอบคอบและรัดกุมมากขึ้น

จะเห็นได้ว่าการใส่แร่ต่างๆ ดังกล่าวมีผลทำให้ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยเคมีมากขึ้น นอกจากนี้ในแร่เหล่านี้มีธาตุอาหารหลายชนิดอยู่ค่อนข้างสูง ตารางที่ 2.5 โดยเฉพาะ ธาตุหลัก เช่น ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) ที่เป็นประโยชน์ ธาตุรอง เช่น กำมะถัน (S) แมกนีเซียม (MgO) แคลเซียม (Ca) ธาตุอาหารจุลธาตุ เช่น เหล็ก (Fe) อยู่ในปริมาณที่สูง

การโมดิไฟด์ในเบนโทไนท์โดยการเติมธาตุสังกะสีและทองแดงนั้นพบว่าให้ผลการทดลองที่ไม่ดีกว่าการใส่แร่อื่นๆ อาจเนื่องจากธาตุทรานซิชันทั้งสองเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับปุ๋ยที่ใส่เข้าไปซึ่งอาจมีผลต่อการดูดใช้ของพืชได้จึงให้ผลที่ไม่แตกต่างไปจากทรีตเมนต์อื่นๆ

นอกจากนี้พบว่าปริมาณของแมงกานีสในไดอะทอไมท์ค่อนข้างสูงมากอาจมีผลกระทบต่อคะน้าหรือกะหล่ำดอกที่ทำการทดลองจนได้ผลผลิตที่ไม่มากไปกว่ากลุ่มทดลองอื่นๆ เนื่องจากการที่พืชได้รับแมงกานีสมากเกินไปอาจเหนี่ยวนำให้พืชขาดธาตุอื่นๆ เช่น เหล็ก แมกนีเซียม และแคลเซียมได้ด้วย การที่พืชสะสมแมงกานีสมากเกินไปจนเป็นพิษจะมีรอยสีน้ำตาลที่ใบแก่ซึ่งเห็นได้ชัดเจนมาก รอยด่างนี้เกิดจากแมงกานิสออกไซด์ (MnO_2) แสดงให้เห็นว่าพิษของธาตุนี้มีผลกระทบอย่างรุนแรงต่อเยื่อหุ้มเซลล์ (Wissemeier and Horst, 1992)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
สรุปและข้อเสนอแนะ

เกษตรกรผู้ร่วมทดลอง พอใจกับระดับของผลผลิตที่ได้ เนื่องจากการใส่แร่ทั้ง 4 ชนิด ในรูปแบบ และสัดส่วนต่างๆกัน ทั้ง 15 ทรีตเมนต์นั้น สามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ยลงได้อย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์โดยที่ไม่กระทบต่อผลผลิตที่เกษตรกรเคยได้ ทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น

นอกจากนี้การใส่แร่ชนิดต่างๆ เพียงครั้งเดียว อาจมีผลต่อเนื่องไปถึงปริมาณการให้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชรุ่นต่อๆ ไป ซึ่งจะทำให้ลดการใช้ปุ๋ยลงได้อย่างต่อเนื่อง จึงควรทำการทดลองเพื่อติดตามผลของการใช้แร่ในระยะยาว หรือทำการทดลองในพืชอื่นๆ ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวที่นานขึ้น เพื่อทดสอบถึงผลที่เกิดจากการใช้แร่ต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

ยงยุทธ โอสถสภา (2543). ธาตุอาหารพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 424 หน้า.

Aphiruk, C. (2004). Synthesis of sodium zeolite form Lampang diatomite applied for ammonium ion removal. Ph.D. Thesis. Suranaree University of Technology.

Grim, R.E. (1968). Clay mineralogy, structure of clay mineral. Mcgraw-Hill, New York. pp. 77-91.

Hewitt, E.J. (1984). The essential and functional mineral elements. In "Diagnosis of mineral disorders in plant, vol. 1 Principles" (J.B.D. Robinson ed.). Chemical publishing, New York. pp. 7-53.

Wilson, M.J. (1994). Clay Mineralogy: Spectroscopic and Chemical Determinative Methods. Published by Chapman & Hall, London, UK. pp. 18-27.

Wissemeier, A.H. and W.J. Host (1992). Effect of light intensity on manganese toxicity symptoms and callose formation in cawpea (*vigna unguiculata* (L.) Walp.) Plant Soil 143: 299-309.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาพผนวกที่ 1 เมล็ดเริ่มงอก หลังหว่าน 3 วัน

ภาพผนวกที่ 2 คะน้าอายุ ได้17 วัน

ภาพผนวกที่ 3 ทำการปักหลักแบ่งเป็นแปลงย่อยเมื่อ คะน้าอายุ 21 วัน (ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1)

ภาพผนวกที่ 4 คะน้าอายุ 25 วัน ถอนแยกไว้ระยะห่าง ประมาณ 15 เซนติเมตร x 15 เซนติเมตร

ภาพผนวกที่ 5 คะน้าอายุได้ 30 วัน (ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2)

ภาพผนวกที่ 6 คะน้าอายุได้ 45 วัน (ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3)

ภาพผนวกที่ 7 สภาพต้นในวันเก็บเกี่ยวคะน้าที่อายุ 54 วัน

ภาพผนวกที่ 8 คะน้าส่วนใหญ่มีลำต้นที่อวบใหญ่และค่อนข้างสม่ำเสมอในวันเก็บผลผลิต